

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.1024

March 2018

港湾分野におけるi-Construction推進のための 3次元データ等の活用に関する検討

吉田英治・井山繁・鈴木啓介

Study on utilization of three-dimensional data etc. for promoting i-Construction in harbor construction

Eiji YOSHIDA, Shigeru IYAMA, Keisuke SUZUKI

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

港湾分野におけるi-Construction推進のための 3次元データ等の活用に関する検討

吉田英治*・井山繁**・鈴木啓介***

要 旨

我が国では人口減少が進んでおり、建設業においても就業者数が1990年代後半をピークに減少している。しかし、バブル経済崩壊後の建設投資の減少は就業者数の減少を上回り、ほぼ一貫して労働力過剰となったため、省力化につながる生産性向上が見送られてきた。一品受注生産、現地屋外生産、労働集約型生産等の業界特有の生産形態が製造業等で進められてきたライン生産による効率化や自動化といった生産性向上策を取り入れづらくさせていた。また、建設業においては、他産業に比べ技能労働者の高齢化が著しく、担い手不足が喫緊の課題となっている。そこで国土交通省は、2015年に労働人口が減少する中で経済成長するために、あらゆる建設生産プロセスにおいて生産性を向上させる「i-Construction」の取り組みを開始した。港湾分野においても浚渫工において3次元データ等を使用することで生産性向上を目指す「ICT浚渫工」を2017年度より開始している。しかし港湾分野におけるICTの活用は試行や実証事例が少なく、他工種へ展開するための知見が限られている。

本検討では、港湾工事の特性や現場ニーズを把握し、現状で考えられるICTの活用時の効果と課題を抽出し、比較検討の上で導入効果が期待される工種を提案した。また、本格導入に際して必要な基準やマニュアルを整備するために考慮しておくべき事項をとりまとめた。

キーワード：港湾、i-Construction、ICT、3次元データ、生産性向上、ナローマルチビーム

* 港湾研究部 港湾施工システム・保全研究室 交流研究員（若築建設株式会社）
** 港湾研究部 港湾施工システム・保全研究室 室長
*** 港湾研究部 港湾施工システム・保全研究室 係長

〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 国土交通省国土技術政策総合研究所
電話：046-844-5019 Fax：046-842-9265 e-mail: ysk.nil-kikaku@ml.mlit.go.jp

Study on utilization of three-dimensional data etc. for promoting i-Construction in harbor construction

Eiji YOSHIDA *
Shigeru IYAMA **
Keisuke SUZUKI ***

Synopsis

The population is decreasing in our country, and in the construction industry too, the number of workers has declined from its peak in the late 1990s. The decline in construction investment after the collapse of the bubble economy exceeded the decrease in the number of workers resulting in the labor force being excessive, so measures to improve productivity such as labor saving have been postponed. The specific production form in the construction industry made it difficult to promote measures for improving productivity such as improvement and automation by line production which has been promoted in the manufacturing industry etc. Moreover, in the construction industry, the aging of skilled workers is remarkable as compared with other industries, and the labor shortage is an urgent issue. So, the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism started "i-Construction" to improve productivity in all construction processes to grow economically while the number of workers decreases in 2015. In harbor construction, "ICT dredging" aimed at productivity improvement using three-dimensional data etc. in the dredging work started from fiscal 2017. However, there are few verifications of utilization of ICT in harbor construction, and knowledge for expanding to other harbor construction work is limited.

In this study, we ascertain the characteristics and needs of harbor construction that utilizes ICT, enumerate and consider the effects and problems of utilizing ICT, and propose harbor construction work that is expected to realize the benefit of its adoption. Also, we show considerable matters to make the necessary standards and manuals for full implementation.

Key Words: harbor, "i-Construction", ICT (information communication technology)
3-dimensional data, productivity improvement, multibeam echo sounder

* Visiting Researcher, Port Construction Systems and Management Division, Port and Harbor Department, NILIM (WAKACHIKU CONSTRUCTION Co., Ltd.)

** Head, Port Construction Systems and Management Division, Port and Harbor Department, NILIM

*** Chief Official, Port Construction Systems and Management Division, Port and Harbor Department, NILIM

National Institute for Land and Infrastructure Management, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism
3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan
Phone : +81-46-844-5019 Fax : +81-46-842-9265 e-mail: ysk.nil-kikaku@ml.mlit.go.jp

目 次

1. はじめに	1
1.1 背景と目的	1
1.2 構成	1
2. 各分野におけるICTの活用状況	2
2.1 製造業におけるICT活用状況	2
2.2 建築分野におけるICT活用状況	2
2.3 土木陸上分野におけるICT活用状況 (ICT土工)	3
2.4 ICT土工のカイゼン	6
2.5 CIM	9
3. 港湾分野におけるICTの活用状況	14
3.1 港湾におけるICT活用の歴史	14
3.2 港湾工事の特性と3次元データの導入により期待される効果	15
3.3 ICT浚渫工	15
4. 港湾分野における3次元データ等の活用に関する検討	19
4.1 検討概要	19
4.2 導入基準の提示	19
4.3 現場のニーズの把握	19
4.4 導入時の効果と課題の比較検討	25
4.5 導入時に考慮すべき事項	37
4.6 さらなる生産性向上へ向けて	47
5. 本検討における提案	50
6. おわりに	51
謝辞	51
参考文献	51
付録A 日本埋立浚渫協会へのアンケート (アンケート票)	55
付録B 日本埋立浚渫協会へのアンケート (回答と集計)	59
付録C 海洋・港湾構造物維持管理士へのアンケート (アンケート票)	72
付録D 海洋・港湾構造物維持管理士へのアンケート (回答と集計)	75
付録E 関係機関等へのヒアリング結果 (概要)	83

1. はじめに

1.1 背景と目的

国土交通省では、人口減少社会において労働者が減少しても経済成長を実現するため、2016年に生産性革命プロジェクトを立ち上げた。プロジェクトは産業別に進められ、建設業においては、生産性向上により魅力ある建設現場を創る新しい取り組みであるi-Constructionが推進されている。

我が国の人口は、2010年の1億2,806万人をピークに減少の一途をたどっている。生産年齢人口についても、今後は毎年1%近く減少していく見込みであり、労働力の不足による経済停滞が懸念される。過去の高度成長においては、人口増以上に生産性向上が成長に寄与していることを踏まえ、持続的な経済成長のために、働き手の減少を上回る生産性の向上が求められている。

建設業においては、就業者数が1990年代後半をピークに減少してきたが、バブル崩壊後の建設投資の減少がこれを上回っていたため、ほぼ一貫して労働力過剰となり、省力化につながる生産性向上が見送られてきた。一品受生産、現地屋外生産、労働集約型生産などは建設業特有の生産形態であり、製造業等で進められてきたライン生産による効率化や自動化、機械化といった生産性向上策を取り入れづらくさせていた。

建設業では依然として労働災害が多く、全産業に比べて死傷事故率が2倍となっている¹⁾。時期毎の事業量に差異があることに起因する収入の不安定さや繁忙期に生じる長時間労働とともに建設業の3K(きつい・危険・汚い)のイメージ定着の大きな要因となっている。

さらに、全産業に比べ、技能労働者の55歳以上の構成比率が高く、この先10年で現在340万人いる技能労働者が2/3になることが想定され²⁾、担い手不足が喫緊の課題となっている。

こうした状況の中、東日本大震災以降、復興事業や東京オリンピック・パラリンピックの開催決定等による建設投資の増加により、建設企業の業績が回復し、投資や雇用の確保が進む状況になりつつある。その上、我が国は世界有数の情報通信技術(以下、ICTという。)を有しており、ICTやIoT(モノのインターネット)を用いて建設現場の生産性向上を図る絶好の機会となっている。

そこで2015年に提唱されたのがi-Constructionである。労働人口が減少する中で経済成長するために、あらゆる建設生産プロセスにおいて生産性を向上させる取り組みで、あわせて労働者の賃金水準の上昇、労働災害の削減、3Kからの脱却、不足する担い手の確保等を実現する希望

がもてる新たな建設現場を創ることを目指している³⁾。

i-Construction推進のために、「ICTの全面的な活用」、「全体最適の導入(コンクリート工の規格の標準化等)」、「施工時期の平準化」の3つのトップランナー施策が設定されている⁴⁾。

そのひとつ「ICTの全面的な活用」は、調査・測量から設計、施工、検査、維持管理・更新までのあらゆる建設生産プロセスに3次元データ(地物の平面座標及び高さの3つ数値で表される位置情報の集合データ)等を使用するICT技術を全面的に取り入れ、生産性の大幅向上を目指すもので、2016年度に先駆けとして、施工段階の土工において、測量から施工、検査、納品に3次元データを活用していくICT土工(2章で詳述)が開始されている。すべての建設現場への浸透を目指した活用の拡大として、2017年度からはICT舗装工と港湾分野においてICT浚渫工(3章で詳述)が始まっている。

港湾分野におけるi-Construction導入の取組みは緒に就いたところであり、3次元データ等の活用の導入拡大に向けた試行や実証事例が少なく、他工種へ展開するための知見が限られている。本検討は、港湾工事の特性や現場ニーズを把握し、現状で考えられる導入拡大時の効果と課題を抽出し、比較検討の上で導入効果が期待される工種を提案することを目的としている。あわせて本格導入にあたり必要な基準やマニュアルを整備するために考慮しておくべき事項を提示する。

1.2 構成

本検討の構成を図-1.1に示す。

第1章には背景と目的を記載する。

第2章では、各分野におけるICTの活用状況を記載する。土木分野に先んじて活用が進んでいた製造業、建設業の建築分野の状況について概説し、i-Constructionのトップランナー施策であるICT土工の導入と改善状況について詳述する。またi-Constructionに先駆けて提唱されたCIMについても取り上げる。

第3章では、港湾分野における3次元データ活用を含むICTの活用状況を記載する。活用の歴史と港湾工事の特性について整理している。2017年度より導入されたICT浚渫工についてはここで詳述する。

第4章は本検討の主題となる部分である。現場における3次元データ等の活用のニーズを把握するために実施したアンケートの結果と代表意見を示している。ニーズを踏まえ導入時の効果と課題を、出来形管理を行う工種毎に比較し、導入の是非を検討している。あわせて本格導入時の基準やマニュアルを整備するために考慮すべき

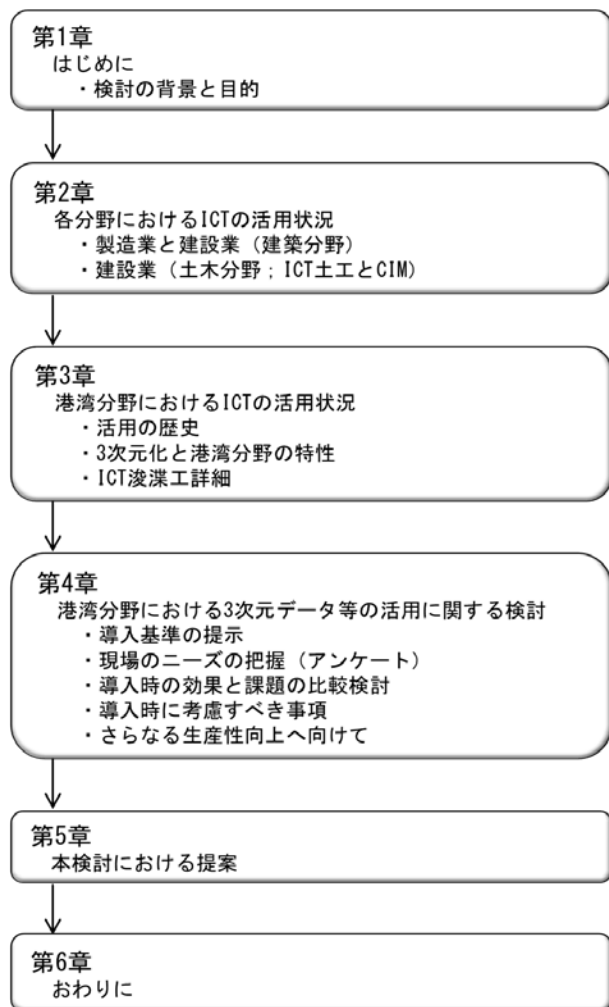


図-1.1 本検討の構成

事項を提示している。また今後のさらなる生産性向上に資する最新の ICT 機器や港湾における CIM の活用状況を取り上げている。

第 5 章では、第 4 章の検討結果より ICT 活用を導入する工種等の提案を行っている。

2. 各分野における ICT の活用状況

2.1 製造業における ICT 活用状況

製造業では 1980 年代にコンピュータを使って設計製図を行う CAD（Computer-Aided Design）が普及し、それまでドラフター（製図台）で手書きされていた図面の作成と修正が容易になった。後工程においても CAD のデータが利用できるようになり、各種計算のためのデータ入力の手間削減等の効率化が進んだ。1990 年代に入るとコンピュータの性能向上により 3 次元 CAD が普及し、製品生産前の視認性向上、体積質量計算や干渉チェックが容易になる等の効果を発揮した。

CAD は、特に設計段階における生産性向上に寄与したが、試作段階では CAE（Computer Aided Engineering）、加工段階では CAM（Computer Aided Manufacturing）や NC（Numerical Control）旋盤が導入され、各段階での生産性向上を進めるとともに、生産工程のオートメーション化を進展させ、製造業全体の生産性を上げている。

CAE は、CAD に入力した製品データを用いてコンピュータ上で行う構造解析等の事前シミュレーションのことで開発のコスト低減や期間短縮に貢献している³⁾。

CAM は、CAD で作成された形状データ（3 次元データ）から加工用プログラムを作成するシステムのことである。コンピュータによる数値制御で自動運転を行い、精密な旋盤加工を可能とする NC 旋盤等の工作機械と連携し、不良品発生や精度のばらつきを少なくしている³⁾。

2.2 建築分野における ICT 活用状況

建設業の建築分野では、2004 年頃より、従来 2 次元で行われていた設計を 3 次元で行い、コンピュータ上で構造物を構築する BIM（Building Information Modeling）に取り組んでいる。

BIM ではコンピュータ中に仮想の建築物を構築するため、そこから水平や鉛直に任意に取り出されたものが従来の 2 次元の「平面図」や「断面図」になる。ひとつの仮想構造物（3 次元モデル）から取り出されているので不整合が起こらない⁴⁾。

従来の 2 次元図面において、壁を表現する場合、2 本の線で表されるが、コンピュータがその 2 本の線を壁と認識することはできなかった。BIM では、3 次元モデルの部位に壁や床といった建物の部材を区別するための情報が組み込まれており、壁と認識することができる。このような情報は属性情報と呼ばれ、部材情報のほかに材質や仕様、製品の型番等の情報が定義されている。属性情報は各種計算ソフトと連携して行う数量計算や仕上げ表・建具表等の自動作成、構造解析の入力データとして利用でき、データ入力の手間の削減ができる⁴⁾。

属性情報を併せ持つ 3 次元モデルの活用で設計作業の大幅な自動化と効率化が図られ、生産性が向上する。

BIM の活用は、2009 年に設計事務所や建設会社において大幅に増加しており、この年が BIM 元年と呼ばれている。国土交通省では、営繕事業において 2010 年に BIM 導入プロジェクトを開始し、2014 年に BIM ガイドラインを公表している。また、日本建築家協会は 2012 年に BIM ガイドラインを発行している。

現在では、建設生産プロセスにおいて、3 次元モデルを利活用し、生産性向上を図る取り組みとして定着している。

2.3 土木陸上分野における ICT 活用状況 (ICT 土工)

(1) ICT 土工の導入

i-Construction のトップランナー施策のひとつ「ICT の全面的な活用」の ICT 活用工事として、施工プロセスの①3次元起工測量、②3次元設計データ作成、③ICT 建設機械による施工、④3次元出来形管理等の施工管理、⑤3次元データの納品 の各段階において ICT を全面的に活用する ICT 土工が 2016 年より開始されている。

土工は、建設現場においてとりわけ生産性向上が進んでいない工種であった。トンネル工が工法の進歩により 50 年で 10 倍向上した一方で、土工においては、この 30 年ではほぼ横ばいであり、生産性向上の余地が残っていた⁹⁾。これは、盛土の高さ等の基準となる丁張設置やスチールテープ、レベルを使用して行う出来形測量等で多くの人手を要するためである。

人手に依る処が大きかった土工の生産性向上のために、デジタルカメラを搭載した無人航空機 (Unmanned Aerial Vehicle ; 以下, UAV という.) やレーザースキャナー (以下, LS という.) 等の 3 次元データを取得できる計測機器や、3 次元データを活用し丁張を使わない施工を可能とするマシンガイダンス (以下, MG という.) やマシンコントロール (以下, MC という.) を備えたバックホウやブルドーザ等の ICT 建設機械を導入することとなった。

これらの機器の導入にあたり、測量マニュアル、取得

した 3 次元データを用いた数量計算方法、ICT 機器を用いた 3 次元測量による出来形管理要領等の ICT の全面活用のための基準類が未整備だったため、2016 年 3 月に新たに 15 の新基準と積算基準を策定した。策定された基準類を表-2.1 に示す。

以下に新基準のうち、代表的な基準の特徴を述べる。

(2) 新技術を用いるための基準

UAV は i-Construction の旗手ともいえる機器で、一般的にはドローンと呼ばれる (図-2.1)。i-Construction では、バッテリーで駆動する幅 1m 程度の回転翼機が多く使われている。操縦は無線で行い、自律飛行する機体もある。デジタルカメラを搭載し、撮影した空中写真を用いた写真測量により 3 次元データを取得する。

UAV を用いた写真測量 (以下, UAV 写真測量という.) については、2013 年より公共測量に導入されたが、マニュアルがなく、測量者は実施の都度、国土地理院に作業方法等の意見を求め、作業を実施した上で成果に加えて計測精度の検証結果を提出していた。そこで国土地理院は、「UAV を用いた公共測量マニュアル (案)」を策定した。

マニュアルの策定により、作業方法や精度確認方法が明確になり、意見を求めることや精度検証結果提出の手間が省略された。マニュアルでは、数値地形図と 3 次元点群データの 2 種類の最終成果を対象として、適用範囲、

表-2.1 ICT 土工新基準一覧 (2016 年)

	名称	概要	備考
調査・測量	① UAVを用いた公共測量マニュアル(案)	UAVを用いた写真測量の方法、3次元データの作成法を策定	新規
	② 電子納品要領(工事及び設計)	ICT活用工事の成果品である3次元データの納品方法を追加	改訂
	③ 3次元設計データ交換標準 (同運用ガイドラインを含む)	3次元設計データを利活用するためのデータファイル形式の表記方法等を策定	新規
施工	④ ICTの全面的な活用の実施方針	全面活用の範囲・体制・推進のための措置等を策定	新規
	⑤ 土木工事施工管理基準(案) (出来形管理基準及び規格値)	3次元データ活用での面的管理について追加	改訂
	⑥ 土木工事数量算出要領(案) (施工履歴データによる土工の出来形算出要領(案)を含む)	3次元データを用いた3D CADソフト使用による計算方法を追加	改訂
	⑦ 土木工事共通仕様書 施工管理関係書類 (帳票:出来形合否判定総括表)	3次元データ活用での面的管理における様式を策定	新規
	⑧ 空中写真測量(無人航空機)を用いた出来形管理要領(土工編)(案)	UAV写真測量による面的な出来形管理方法について策定	新規
	⑨ レーザースキャナーを用いた出来形管理要領(土工編)(案)	LSによる面的な出来形管理方法について策定	新規
	⑩ 地方整備局土木工事検査基準(案)	3次元データ活用での検査頻度を追加	改訂
検査	⑪ 既済部分検査技術基準(案)及び同解説	3次元データ活用での検査頻度を追加	改訂
	⑫ 部分払いにおける出来高取扱方法(案)	3次元データ活用での部分払いにおける出来高数量の算定方法を追加	改訂
	⑬ 空中写真測量(無人航空機)を用いた出来形管理の監督・検査要領(土工編)(案)	UAV写真測量による面的な出来形管理の監督検査方法について策定	新規
	⑭ レーザースキャナーを用いた出来形管理の監督・検査要領(土工編)(案)	LSによる面的な出来形管理の監督検査方法について策定	新規
	⑮ 工事成績評定要領の運用について	3次元データ活用での、出来形評価について追加	改訂
積算基準	ICT活用工事積算要領	施工パッケージ及び機械経費、システム初期費用について追加	新規



図-2.1 UAV（無人航空機）⁶⁾

精度確認方法、測量方法、最終成果の整理等の一連の流れについて取りまとめている。

UAV 写真測量では、写真の枚数が少ないと必要な精度が確保できない。また、写真数が多過ぎると解析処理に時間を要し効率が低下する。効率向上と精度確保を並立させつつ、成果の 3 次元データの作成が可能となるように、写真の重複率（ラップ率）や位置の基準となる評定点、精度を確認する検証点の設置方法が定められている^{7~8)}。

UAV は、普及後に墜落事故や建造物への衝突事故が社会問題になっていたため、国土地理院では、マニュアル策定と同時に「公共測量における UAV の使用に関する安全基準（案）」⁹⁾ を定めている。一方、国土交通省航空局では、人口集中地区の上空等において UAV を飛行させる場合に地方航空局長の許可を受けることとする旨等を定めた「無人航空機（ドローン、ラジコン機等）の安全な飛行のためのガイドライン」¹⁰⁾ を策定している。

(3) 計測精度と取得点密度

公共測量マニュアルに則った方法で施工管理基準が定める規格値を満足する UAV 写真測量や LS 測量による出来形管理の方法をまとめたものが、「空中写真測量（無人航空機）を用いた出来形管理要領（土工編）（案）」及び「レーザースキャナーを用いた出来形管理要領（土工編）（案）」である。

機器毎に精度が異なる上に、起工測量、出来形測量等、測量の種類が多岐にわたることから、測量の種類毎に計測精度と取得点密度を規定している。

UAV 写真測量の起工測量では、精度は±100mm 以内、密度は 50cm×50cm メッシュあたり 1 点以上、出来形測量では、精度は±50mm 以内、密度は 10cm×10cm メッ

シュあたり 1 点以上となっている¹¹⁾。

一方、LS の起工測量では、精度は±100mm 以内、密度は 50cm×50cm メッシュあたり 1 点以上、出来形測量では、精度は±20mm 以内、密度は 10cm×10cm メッシュあたり 1 点以上となっている¹²⁾。

ともに出来形測量での計測精度を 10cm×10cm メッシュあたり 1 点以上としているが、規格値との比較評価は、1 点以上/m² に密度調整した出来形評価用データにより行うこととしている。

計測精度や取得点密度は、事前のモデル事業で得た知見より、機器の特性を生かしつつ生産性を向上させるために規定しており、目的に応じて差異が生じている。

(4) 3 次元数量算出方法

工事数量の算出には一般的に平均断面法を用いている。3 次元データを用いた 3 次元 CAD による数量計算方法として、3 つの方法を「土木工事数量算出要領（案）」に追加している¹³⁾。以下に 3 つの計算方法を示す。

a) 点高法

等間隔メッシュの標高差（メッシュ 4 隅の標高差の平均値又はメッシュ中央の標高差）にメッシュの水平投影面積を乗じた体積の総和を全体数量とするもの（図-2.2）。

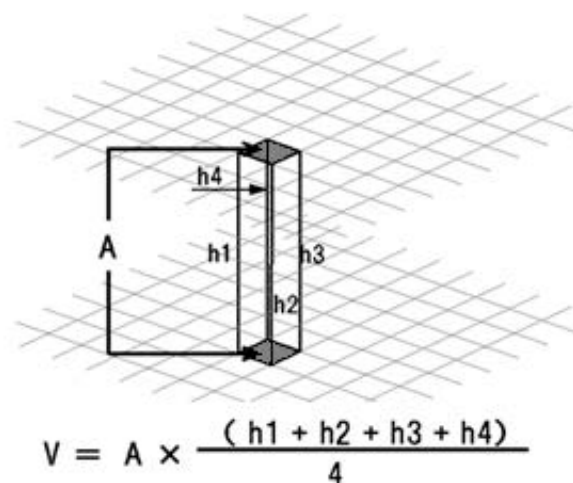


図-2.2 点高法による求積法¹³⁾

b) TIN 分割等を用いて求積する方法（TIN 法）

TIN（Triangular Irregular Network）は、取得した 3 次元データの各点を線で繋いだ多数の三角形で構成する地物を表現するデジタル構造である（図-2.3）。

TIN を構成する三角形の 3 頂点の標高差の平均値と三角形の水平投影面積を乗じた体積の総和を全体数量とするものが TIN 法である。原地盤の TIN と一様な設計面と

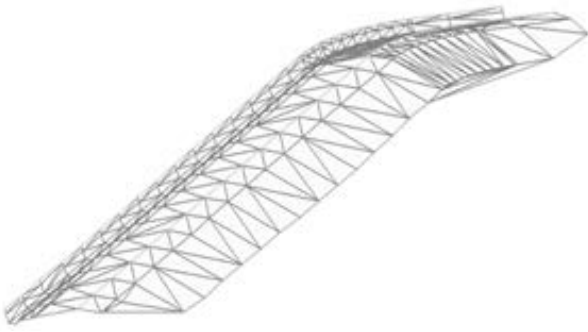


図-2.3 TIN モデル例¹³⁾

で計算される設計数量算出に用いられる (図-2.4)。

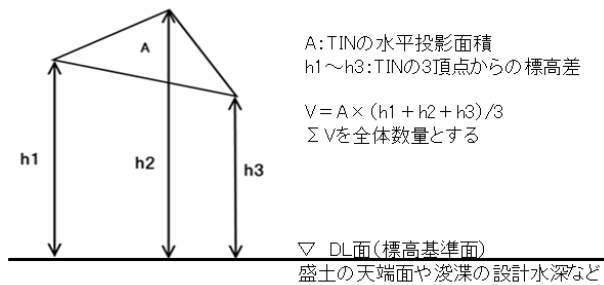


図-2.4 TIN 法¹³⁾

c) プリズモイダル法

2つのTINの頂点の平面位置が合致しない場合にTINを細分化して体積を求める方法。原地盤形状と出来形形状の2つのTINで計算される出来形数量算出に用いられる (図-2.5)。

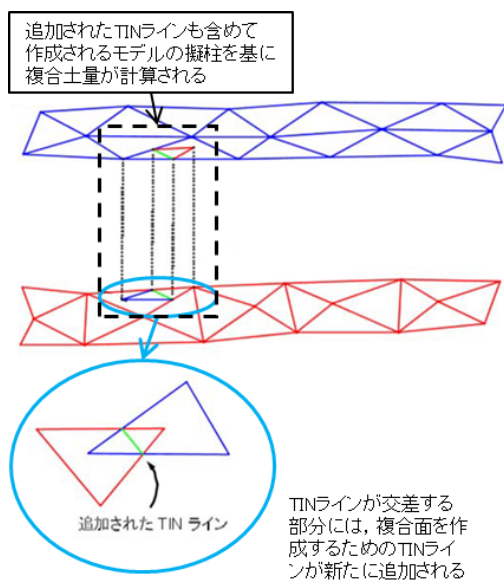


図-2.5 プリズモイダル法¹³⁾

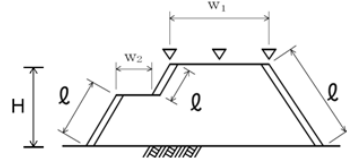
(5) 3次元出来形管理の規格値

道路土工盛土における出来形管理は、従来40m毎の管理断面において、基準高、幅、法長を測定している。3次元出来形管理の実施にあたり、3次元出来形データを評価する管理基準が未整備であったため、「土木工事施工管理基準(案)」の出来形管理基準及び規格値を改訂し、頻度と規格値を追加した¹⁴⁾(図-2.6)。

従来

巻尺、レベル、TSで計測
計測データを手入力し管理表を作成

代表断面で高さ・幅・法長を測定し評価



<例：道路土工(盛土工)>

測定基準：測定・評価は施工延長40m毎

規格値：基準高(H)：±5cm

法長(l)：-10cm

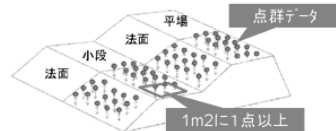
幅(w)：-10cm



ICT土工

ICT機器(UAV、LS)で計測
計測データを対応ソフトに取り込みと3次元モデル
管理表等は自動作成

3次元点群データからなる面的な形状で評価



<例：道路土工(盛土工)>

測定基準：測定密度は1点/m²以上、評価は平均値と全測点

規格値：設計面との標高較差(設計面との離れ)

平場 平均値：±5cm 全測点：±15cm

法面 平均値：±8cm 全測点：±19cm

※法面には小段含む

図-2.6 ICT 活用工事に対応した出来形管理基準¹⁵⁾

UAV 写真測量やLSは、面的に測量することには適しているが、特定点を測量することには不向きであることから、従来測定していた幅や法長が除外され、基準高のみが設定されている。各点の標高較差(設計に対する差)を確認することで幅、法長を担保している。一方でデータの取得密度を1点以上/m²とすることで管理断面以外の箇所を含めた全体を面的に網羅している。

従来の基準高の規格値は、±50mm以内である。3次元出来形管理では、個々の計測値を±150mm以内、全測点の平均値を±50mm以内としている。個々の計測値にICT機器の計測精度を加味し、従来基準を緩和しているが、

平均値で従来の仕様を確保する形としている。

ここでの規格値の単位については「土木工事施工管理基準（案）」に準じて mm 単位で記載している。

(6) 3 次元データの交換形式

ICT 土工をはじめとする i-Construction では、3 次元データの一貫利活用を行い、建設生産プロセス全体の生産性向上を目標としている。そのために、各段階において 3 次元データを交換できるファイル形式が必要である。

その交換可能なファイル形式に、LandXML ファイルを定めた「3 次元設計データ交換標準」を策定している。

LandXML は、2000 年から米国で道路用の 3 次元設計データの標準化を図るために開発された¹⁶⁾ 交換可能なファイル形式で、要素内に中心線形や横断形状、地形モデルが定義されており、一般的な 3 次元 CAD において 3 次元モデルとして表現することができる。

ただし国外で開発されたもののため、国内で必要な情報が取り扱えない短所がある。必要な情報を拡張情報として追加する仕様を定めたものが 3 次元設計データ交換標準であり¹⁷⁾、国土技術政策総合研究所が策定している。

3 次元データの保存形式としては、座標値を羅列した CSV 形式や XYZ 形式等のテキストファイルもある。これらは 3 次元 CAD に取り込み、3 次元モデルを作成することは可能だが、出力形式としては使用できない。CAD のオリジナルファイルや LandXML ファイルで出力することが必要になる。

図-2.7 に LandXML ファイルの記載例を示す。

```
<CoordGeom>
<Line length="94.906">
<Start name="BP">-134492.609300 -31243.259760</Start>
<End name="KA1-1">-134462.476634 -31153.264299</End>
</Line>
<Spiral length="37.5" radiusEnd="150." radiusStart="INF"
rot="ccw" spiType="clothoid">
<Start name="KA1-1">-134462.476634 -31153.264299</Start>
<PI>-134454.532630 -31129.538410</PI>
<End name="KE1-1">-134449.108977 -31118.255675</End>
.....
```

図-2.7 LandXML ファイル記載例¹⁷⁾

(7) ICT 建設機械

個別の基準類策定はなされていないが、「ICT の全面的な活用の実施方針」に記載されている ICT 建設機械について触れておく。ICT 建設機械とは、3 次元設計データを用いて所定の形状に盛土、切土を行う MG 及び MC の機能を有するブルドーザやバックホウ等のことである。

MG は、建設機械本体に搭載された GNSS (Global

Navigation Satellite System ; 全球測位衛星システム) アンテナと IMU (慣性計測装置) により機体やブレード、バケットの位置を測量し、予め入力された 3 次元設計データと連動し、所定の形状までの位置をモニター表示させ、運転手の操作支援を行うシステムである。

一方 MC は、MG にブレードやバケットの油圧制御を加えたシステムで、所定位置以上に掘り進めようとした場合、自動制御により掘ることができなくなる。経験の少ない運転手でも施工の要求仕様を満たすことの出来る技術である (図-2.8)。



図-2.8 ICT 建設機械による施工¹⁵⁾

これらの技術は、丁張設置の手間の削減による効率化や建機周囲にいた補助作業員の削減による安全性向上の効果が期待され、i-Construction 提唱に先立ち実施されていた情報化施工において多くの知見を得た成熟した技術である。

2.4 ICT 土工のカイゼン

i-Construction においては、推進する視点として、建設現場の生産性向上を阻む「規制 (イノベーションを阻害し、最新の技術が考慮されていない従来からの基準等)」や「既成概念」などの制度面の課題について、常に建設現場に携わる関係者が問題点を話し合い、継続的に改善することを重要としており、継続的な改善のことを「カイゼン」と表記している¹⁾。

本節では 2016 年度に実施された ICT 土工の事例と事例で取り上げられた課題の「カイゼン」について述べる。

(1) ICT 土工事例集

国土交通省は、2016 年度に 584 件の ICT 土工を実施した。現場からは、活用による多くの効果と課題が挙げられている。584 件のうち 100 件の ICT 土工の効果と現場の声を掲載した ICT 土工事例集が作成されている¹⁸⁾ (図-2.9)。

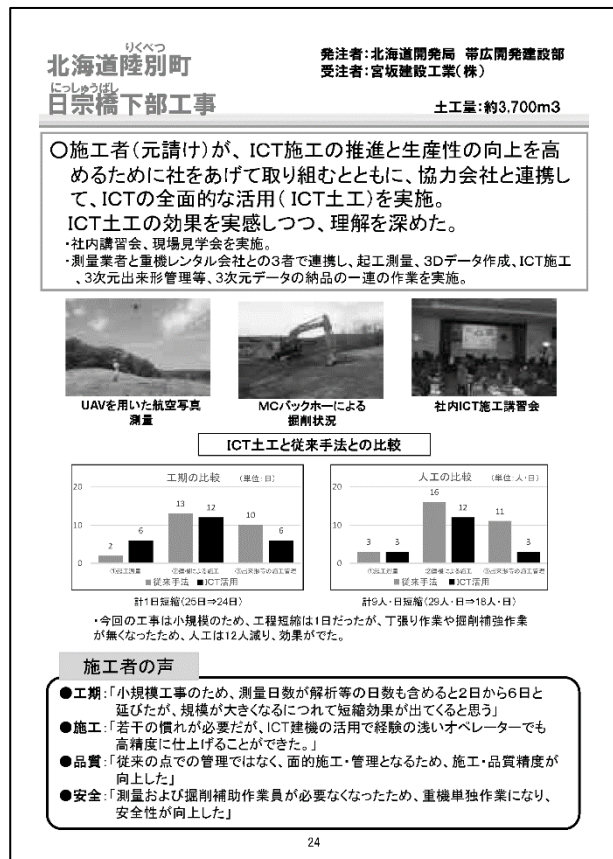


図-2.9 ICT 土工事例集掲載例¹⁸⁾

本稿では独自に事例集の集計を実施した。

掲載工事を施工土量 5,000m³、20,000m³ を境に 3 つの区分(小規模、中規模、大規模)に分けて起工測量及び施工について要した日数と人工の集計を行った。

所要日数について、起工測量はどの規模においても一律で半減した結果が出ており、効果が明確に表れている。ただし測量面積の記述が無いため、施工面積と土量の関係は不明である。施工日数は小規模から順に 9%、14%、16%と規模が大きくなる毎に短縮率が増加している(表-2.2)。

人工について、所要日数同様に起工測量では、どの規模においても半減以上の効果が出ている。施工について

表-2.2 ICT 土工事例集 日数集計

工事規模	件数	起工測量日数(平均)			施工日数(平均)		
		従来	ICT	短縮率	従来	ICT	短縮率
小規模	10	4.8	2.1	57%	24.0	21.8	9%
中規模	25	5.2	2.4	55%	51.3	44.4	14%
大規模	38	8.4	3.9	54%	81.3	68.0	16%

は、小規模、中規模ともに 3 割程度の削減であるのに対し、大規模では 7 割の削減となっている。大規模ほど建機運転手以外の丁張り設置員や補助作業員の比率が大きいといえる。ただ中規模工事の人員が最も多くなっている逆転現象が見られるが、施工面積と土量の関係が不明であることや人工に測量を行った元請職員が入っているか否か等が不明であるため原因は不明である(表-2.3)。

表-2.3 ICT 土工事例集 人員集計

工事規模	件数	起工測量日数(平均)			施工日数(平均)		
		従来	ICT	短縮率	従来	ICT	短縮率
小規模	6	12.3	4.3	65%	42.7	29.8	30%
中規模	11	12.2	6.0	51%	96.1	66.4	31%
大規模	14	17.6	8.0	54%	53.8	16.0	70%

ICT 導入効果があった意見として、面的管理で全体把握でき品質が向上した、経験の浅い運転手でも高精度に施工ができた、建機周りでの衝突等の災害リスクを減らせた等が寄せられている。

一方で課題として、UAV 写真測量の出来形管理要領が定める評定点の設置頻度や写真のラップ率が大きいため効率が悪化させている、UAV 写真測量や LS による出来形管理が小規模工事や現場条件により非効率や不経済になっているといった意見が挙げられている。

非効率や不経済になる課題を「カイゼン」するべく、前年策定の 15 の基準類の一部改訂と新たな基準類の追加を実施している。改訂及び追加された基準の一覧を表-2.4 に示す。以下に改訂及び追加基準のうち代表的な基準の特徴を述べる。

(2) 非効率な基準のカイゼン

UAV 写真測量における解析時の効率低下の原因となっていた空中写真の進行方向ラップ率を緩和する改訂が、「UAV を用いた公共測量マニュアル(案)」及び「空中写真測量(無人航空機)を用いた出来形管理要領(土工編)(案)」で実施された。従来の 90%から 80%へ 10%の緩和である^{7)・19)} (図-2.10)。

表-2.4 ICT 土工改訂及び追加基準一覧(2017 年)

		名称	改訂(新設)概要	備考
導入済	調査測量設計	① UAVを用いた公共測量マニュアル(案)	評定点設置基準, 写真オーバーラップ緩和	改訂
		③ 3次元設計データ交換標準(同運用ガイドラインを含む)	片勾配擦り付け定義追加	改訂
	施工	④ ICTの全面的な活用の実施方針	ICT舗装工, CIM活用を追加	改訂
		⑤ 土木工事施工管理基準(案) (出来形管理基準及び規格値)	追加3次元計測機器における管理基準を追加	改訂
		⑧ 空中写真測量(無人航空機)を用いた 出来形管理要領(土工編)(案)	写真オーバーラップ緩和, 評定点設置基準及び 対地高度の一部緩和	改訂
	検査	⑬ 空中写真測量(無人航空機)を用いた 出来形管理の監督・検査要領(土工編)(案)	⑧改訂に伴う監督検査要領の改訂	改訂
	積算基準	ICT活用工事積算要領	施工パッケージの細分化	改訂
追加	調査測量設計	(1) 地上レーザスキャナを用いた公共測量マニュアル(案)	未制定の地上型LSによる測量マニュアル	新規
		(2) ステレオ写真測量(地上移動体)による 土工の出来高算出要領(案)	新技術を用いた出来形部分払いにおける 出来高算定方法として策定	新規
	施工	(3) TSを用いた出来形管理要領(土工編)	ICT活用に対応するための面的管理追加	改訂
		(4) TS(ノンプリズム方式)を用いた出来形管理要領(土工編)	既存技術をICT活用に組み込むための 出来形管理方法を策定	新規
		(5) RTK-GNSSを用いた出来形管理要領(土工編)	既存技術をICT活用に組み込むための 出来形管理方法を策定	新規
		(6) 無人航空機搭載型レーザースキャナーを用いた 出来形管理要領(土工編)	新技術をICT活用に組み込むための 出来形管理方法を策定	新規
		(7) TS・GNSSを用いた盛土の締固め管理要領	ICT活用に対応するための面的管理追加	改訂
	検査	(8) TSを用いた出来形管理の監督検査要領(土工編)	(3)改訂に伴う監督検査要領の改訂	改訂
		(9) TS(ノンプリズム方式)を用いた出来形管理の 監督検査要領(土工編)	(4)新設に伴う監督検査要領の新設	新規
		(10) RTK-GNSSを用いた出来形管理の 監督検査要領(土工編)	(5)新設に伴う監督検査要領の新設	新規
		(11) 無人航空機搭載型レーザースキャナーを用いた 出来形管理の監督・検査要領(土工編)	(6)新設に伴う監督検査要領の新設	新規
		(12) TS・GNSSを用いた盛土の締固め監督検査要領	(7)改訂に伴う監督検査要領の改訂	改訂



図-2.10 ラップ率の緩和²⁰⁾

この緩和により飛行速度が2倍、撮影写真枚数は半分之一になり、120分要していた測量時間が70分へ42%短縮された実証結果が報告されている²⁰⁾。

ラップ率緩和による精度については、出来形管理要領が求める写真の画素寸法1cmで撮影した場合に、最低75%のラップが確保されていれば、計測精度±50mm以内を満足するとの実証結果²¹⁾が出ている。要求精度を落とすことなく生産性を向上させるカイゼンの好例である。

ただし、この緩和は現地で、ラップ率が80%以上であることを確認できる場合に適用できるもので、確認できない場合は従来どおり90%での飛行計画を立案するものとしている。

(3) 不経済な状況のカイゼン

UAVやLSの費用について、起工測量分は積算計上(見積徴収を実施)されているものの、出来形測量分については、共通仮設費の率分の範疇として、別途計上されていない。

そのため小規模工事において、ICT機器の導入が不経済となるため既存技術の活用を可能にして欲しいとの要望が挙げられた²²⁾。

そこで、情報化施工において普及していたトータルステーション(以下、TSという。)を用いた出来形測量を

ICT 土工に組み込むこととし、策定済の「TS を用いた出来形管理要領（土工編）」に面的管理を追加した（図-2.11）。

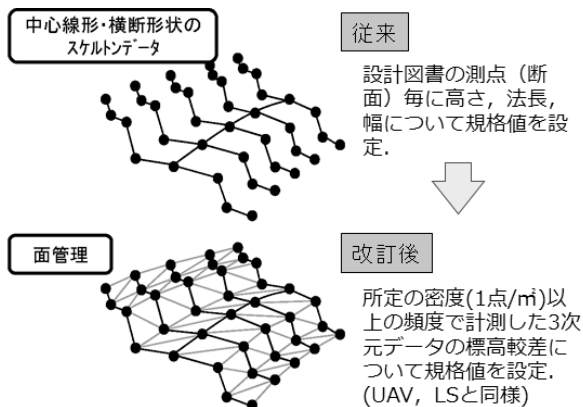


図-2.11 追加された面的管理 ²³⁾

TS を用いた出来形測量の規格値は UAV や LS と同様としている。計測精度は、1 点以上/m²とし、UAV や LS の 10cm×10cm メッシュ当り 1 点以上に比べ、緩和されている ²⁴⁾。これは特定位置の測量が可能である一方で多点観測を実施した場合に非効率になるという TS の特性を考慮したものである。ただし UAV や LS の出来形評価用データの調整された点群密度と同等のため、性能維持上問題ない。

TS を用いた出来形管理は、小規模工事のみならず、UAV や LS において欠測が生じた場合の補足にも適用できる。

(4) 新技術を組み込むカイゼン

ICT 計測機器として導入された LS は、構造物や障害物の裏側の測量が出来ないため、機械を複数回設置し直す必要がある。また入射角が小さくなると計測精度の低下や取得点密度が不足するといった弱点があり、広範囲の測量を行う場合には生産性が低下する場合がある。

LS の弱点を補完する新技術として確立されていた無人航空機搭載型レーザースキャナー（以下、UAV レーザーという。）を導入するために、「無人航空機搭載型レーザースキャナーを用いた出来形管理要領（土工編）」を策定した。不可視範囲を低減し効率的な測量を可能とする上、入射角を大きく保つことで安定した精度での測量が可能となった（図-2.12）。

出来形測量の規格値や点群密度、計測精度は、従来の LS のものと同等になっている ²⁵⁾。

i-Construction では関連する技術の進化が日進月歩であり、導入済の技術の課題や弱点を、要求仕様を維持しな

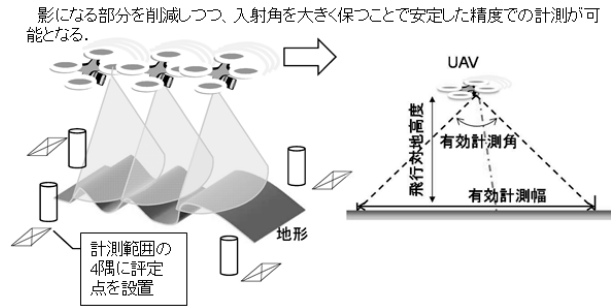


図-2.12 UAV レーザーによる安定した測量 ²³⁾

がら新技術で補うことがさらなる生産性向上のために有効とされており、その事例といえる。

UAV レーザーによる出来形管理要領が策定されたことで、策定済の「レーザースキャナーを用いた出来形管理要領（土工編）（案）」は、「地上型レーザースキャナーを用いた出来形管理要領（土工編）（案）」に名称変更されている。地上型レーザースキャナーは通常 TLS と略されるが、本稿では、ここまでと同様に LS と表記する。

2.5 CIM

(1) CIM の概要

建設業の土木分野では、i-Construction の ICT 活用に先立ち、BIM の土木版として CIM（Construction Information Modeling/Management）が導入されていた。

CIM は、調査、測量、設計、施工、維持管理の一連の建設生産プロセスに、3 次元モデルに属性情報を付与した CIM モデルを導入、連携・発展させて、関係者間の情報共有を容易にし、業務の効率化とシステムの高度化を図る取り組みである。図-2.13 に CIM、図-2.14 に CIM モデルの概要を示す。

CIM は、BIM の土木版であることから、'M'にコンピュータ上に、3 次元データによる形状情報と属性情報を併せ持つモデルである CIM モデルを構築する Modeling の意味と、CIM モデルを建設生産プロセスにおいて一貫利用することで生産性を向上させる Management の意味と 2 つの意味合いがある用語となっている。

CIM は 2012 年 4 月に国土交通省技監（当時）の佐藤直良氏により提唱されている。同年 7 月に一般財団法人日本建設情報総合センター（JACIC）を中心に CIM 技術検討会、同年 8 月に国土交通省に CIM 制度検討会が発足し、CIM 導入の上での制度・基準及び技術上の課題についての整理検討を開始している。また同年には、試行業務及び試行工事を開始している。

民間の動きとしては、BIM の運用が進んでいた大手建

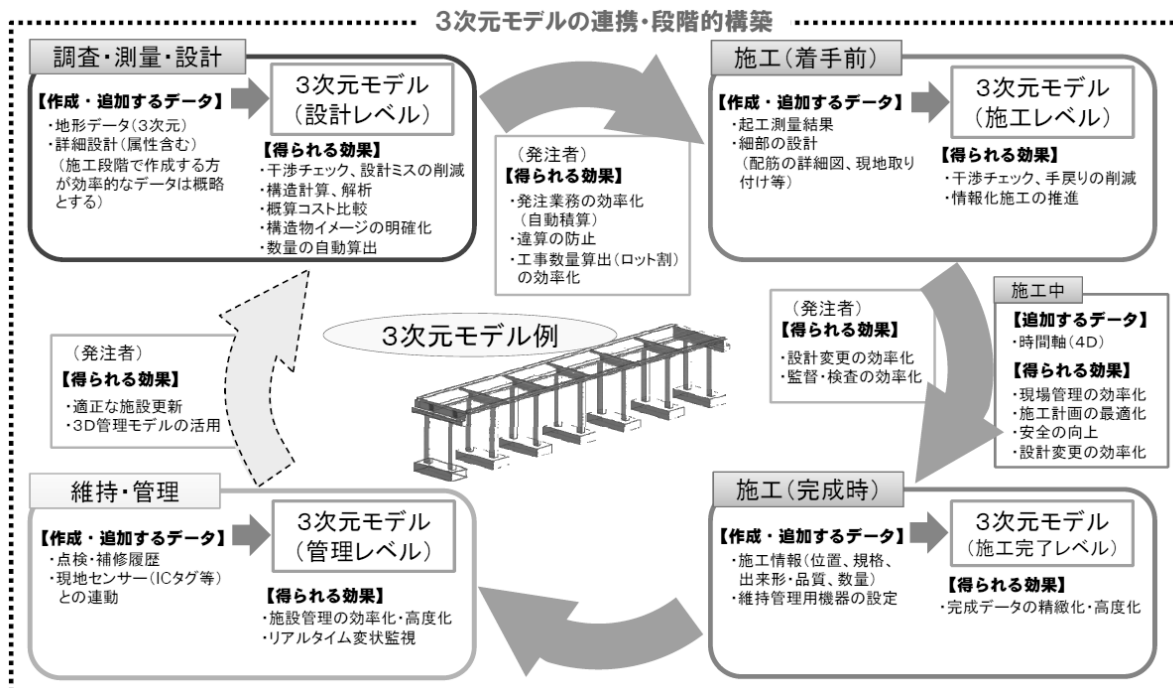


図-2.13 CIM 概要 26)

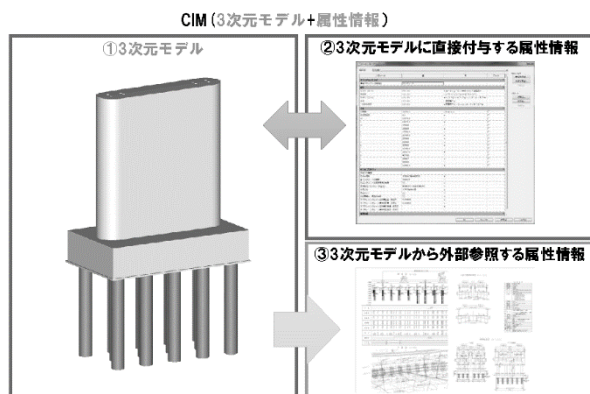


図-2.14 CIM モデル概要 26)

- ④維持管理の効率化，高度化
- ⑤構造物情報の一元化，統合化
- ⑥環境性能評価，構造解析等を目指す

今まで 2 次元図面や説明者の頭の中で組み立てられていたものが可視化されることで専門知識の無い方々にも分かり易い説明資料となり，合意形成や意思決定が迅速化する。

設計段階では，平面図，断面図等別々に作成されていた図面が CIM モデルに一元化されることで整合性が確保される。また，数量計算の自動化や違算の削減，比較検討が容易になり最適化が図られる。

施工段階では，CIM モデルと最先端の ICT 技術による情報化施工の連携により施工性や安全性が向上する。

施工段階までに得られた情報が付与された CIM モデルの活用や構造物情報の一元化により効率的な維持管理が期待される（図-2.15）。

CIM においては，上記の建設生産プロセスへの効果のみならず，よりよいインフラの整備や維持管理による国民生活の向上，建設業界に従事する人のモチベーションアップ，心の豊かさの向上といった社会的な効果も期待されており，これは i-Construction の目指すところと一致している。2017 年度からは，i-Construction の「ICT の全面的な活用」に組み込まれ，試行工事が開始されている。

設会社を中心に 2012 年以降，復興事業や大規模プロジェクトにおいて CIM の導入が開始されている。

2016 年 6 月には，CIM 技術検討会と CIM 制度検討会を一本化した CIM 導入推進委員会が国土交通省に設置されて本格導入の準備段階に入った。2017 年 3 月に「CIM 導入ガイドライン（案）」^{26~31)} が策定され，2017 年度より本格運用が開始されることとなった。

(2) 期待される効果

CIM 導入の効果として以下の項目が挙げられる。

- ①情報の利活用によるプロジェクトの可視化
- ②設計の最適化（整合性の確保）
- ③施工の高度化（情報化施工），判断の迅速化

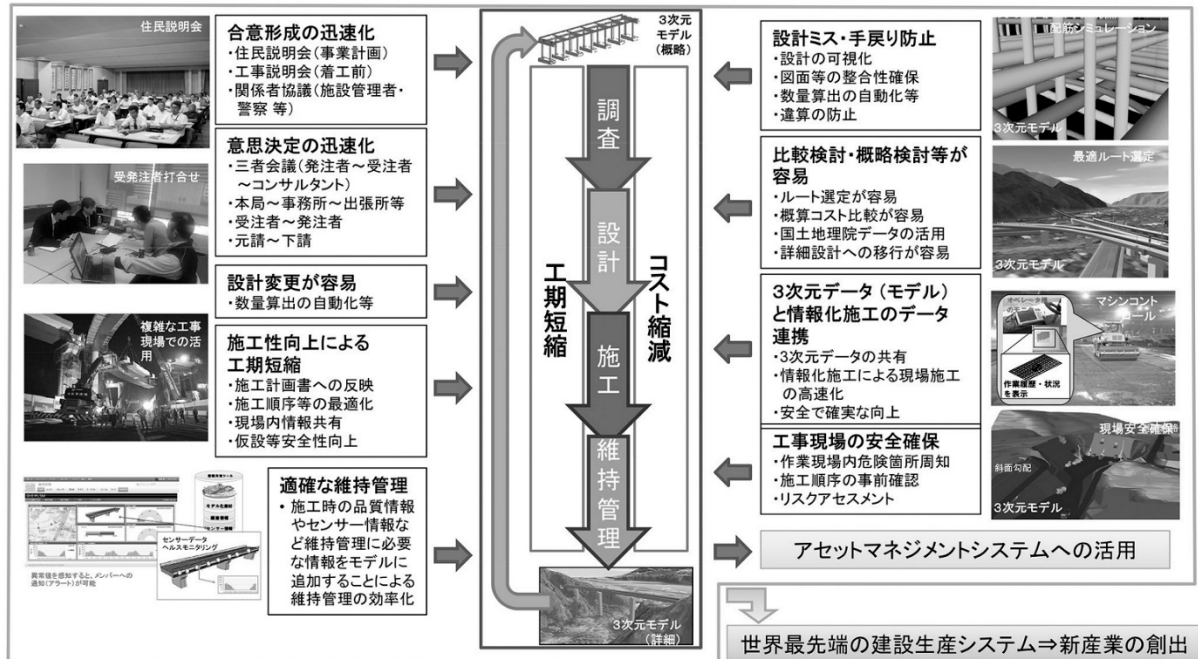


図-2.15 CIM に期待される効果 ²⁶⁾

CIM の導入効果を示す用語として、フロントローディングとコンカレントエンジニアリングがある。建設生産プロセス全体の生産性向上を図る i-Construction にも通じる考え方として、以下に紹介する。

a) フロントローディング

フロントローディングは、初期工程において集中的に検討を行い、後工程で生じる恐れのある仕様変更や手戻りを未然に防ぎ、品質向上や工期短縮を図ることである（図-2.16）。

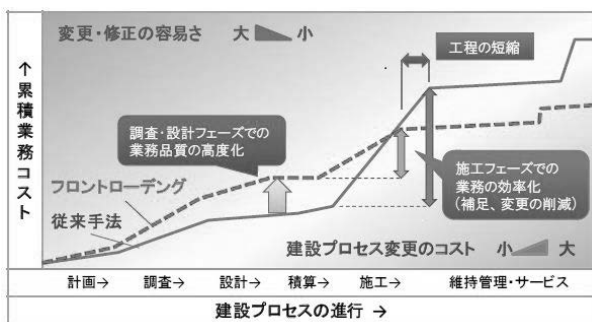


図-2.16 フロントローディングのイメージ ²⁶⁾

構造物の配筋設計時に、鉄筋の干渉を 3 次元モデルにより確認し、施工時に配筋組立ができなくなる手戻りが無いように、鉄筋間隔を修正する例（図-2.17）や橋梁において、点検用の作業動線が確保され、完成後に通路等

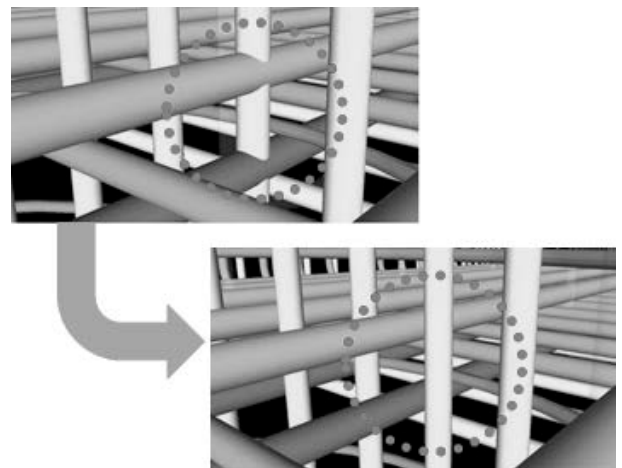


図-2.17 フロントローディング例（鉄筋干渉確認） ²⁶⁾

の追加設置や変更が無いように、設計段階において確認する例が該当する。

b) コンカレントエンジニアリング

複数の工程を同時並行で進め、各部門間での情報共有や共同作業を行うことで、期間の短縮やコストの削減を図ることである（図-2.18）。

公共工事の入札契約方式のひとつで、施工段階の知見を設計に生かすために、設計段階から施工者が関与する方式（ECI 方式）等が該当する。

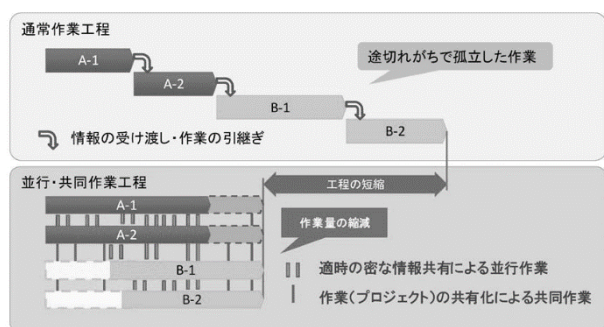


図-2.18 コンカレントエンジニアリングのイメージ ²⁶⁾

(3) CIM 導入ガイドライン

2017 年 3 月、それまでの試行で得られた知見等を踏まえ、活用可能な項目を中心に「CIM 導入ガイドライン(案) (以下、ガイドラインという。)」が策定された。ガイドラインは共通編 ²⁶⁾、土工編 ²⁷⁾、河川編 ²⁸⁾、ダム編 ²⁹⁾、橋梁編 ³⁰⁾、トンネル編 ³¹⁾の 6 編から構成される(表-2.5)。

表-2.5 ガイドラインの構成

タイトル	内容（各分野編は対象）
第 1 編 共通編	CIM の基本的考え方、各分野共通の測量、地質・土質モデルの考え方を示す。
各分野編	受発注者が取り組むべき内容を建設施工プロセスの段階毎に示す。
第 2 編 土工編	道路土工、河川土工（ICT 土工）
第 3 編 河川編	河川堤防、構造物（樋門、樋管等）
第 4 編 ダム編	ロックフィルダム、重力式コンクリート式ダム
第 5 編 橋梁編	橋梁上部工（鋼橋、PC 橋）、下部工（RC 橋台・橋脚）
第 6 編 トンネル編	山岳トンネル

共通編では、CIM 及び CIM モデルの基本的な考え方、モデル詳細度、各分野共通の測量、地質・土質モデルの考え方を記載している。

各分野編においては、測量、地質・土質調査、調査・設計、施工、維持管理の段階毎の受発注者が取り組むべき内容、試行における活用事例が示されている。

(4) CIM モデル

CIM モデルは、構造物の形状を表す 3 次元モデルに属性情報を付与したものである。属性情報は、構造物を構

成する部材の名称、寸法、物性、強度等の物性値、数量等の情報、コンクリート打設記録や出来形データ等の施工時の記録、維持管理の点検記録等の情報である。

属性情報の付与方法として、情報を定型化し、3 次元 CAD 等のソフトウェアの機能を用いて、3 次元モデルに直接付与する方法と文書、図面等の非定型な情報を 3 次元モデルにリンク付けする外部参照をする方法がある。

直接付与の場合、3 次元 CAD 上で全ての情報を確認できるため操作等が簡易となるが、多くの情報が紐づけされるためファイル容量が過大になり扱いづらくなる短所があり、付与方法については、利用者が必要としている情報を見極めた上で情報量と扱うコンピュータの能力を考慮し選定する必要がある。

CIM モデルは 7 つに分類 ²⁶⁾され、用途に応じて組み合わせて用いる。表-2.6 に CIM モデルの一覧を示す。

表-2.6 CIM モデルの分類

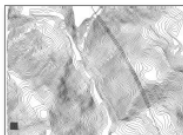
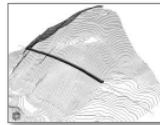
モデル名	内容
線形モデル	道路中心線、構造物中心線を表現
土工形状モデル	盛土・切土を表現（サーフェス；表面のみで表す手法）
地形モデル	数値地図、測量成果より TIN 等で現況地形を表現
構造物モデル	構造物を表現（サーフェス＋ソリッド；表面＋中身で表す手法）
地質・土質モデル	ボーリング結果等の地質土質調査の結果を表現
広域地形モデル	広域の地形モデル＋建屋を表現
統合モデル	上記の CIM モデルの組み合わせで全体を表現

CIM モデルの作成に際して、どこまで詳細に作成するかを予め決めておかないと、作成者毎にモデルの作り込み具合が異なり手戻り発生の恐れがある。そのためにガイドラインでは用途・目的による作り込みの指標として CIM モデル詳細度を定義している(表-2.7)。

(5) ファイルの交換形式

建設生産プロセス全体に CIM モデルを導入するにあたって、各段階間においてデータの受け渡しを行うためのファイルの交換形式を定めておく必要がある。ICT 土工では、LandXML 形式のファイルを定めているが、CIM においては、多くの属性情報を扱うため、道路の線形情報等を表現することを主とする LandXML を用いること

表-2.7 CIM モデル詳細度 ²⁶⁾

詳細度	共通定義	【参考】工種別の定義例	
		構造物（山岳トンネル）のモデル化	サンプル
100	対象を記号や線、単純な形状でその位置を示したモデル。	対象構造物の位置を示すモデル（トンネル）トンネルの配置が分かる程度の矩形形状もしくは線状のモデル 	
200	対象の構造形式が分かる程度のモデル。標準横断で切土・盛土を表現、または各構造物一般図に示される標準横断面を対象範囲でスワイプ*させて作成する程度の表現。	構造形式が確認できる程度の形状を有したモデル（トンネル）計画道路の中心線形とトンネル標準横断面でモデル化。坑口部はモデル化せず位置を示す。 	
300	附帯工等の細部構造、接続部構造を除き、対象の外形状を正確に表現したモデル。	主構造の形状が正確なモデル（トンネル）避難通路などの拡張部の形状をモデル化する。検討結果を基に適用支保パターンを範囲を記号等で、補助工法は対象工法をパターン化し、記号等で必要範囲をモデル化する。坑口部は外形寸法を正確にモデル化する。舗装構成や排水工等の内空設備をモデル化する。箱抜き位置は形状をパターン化し、記号等で設置範囲を示す。 	
400	詳細度 300 に加えて、附帯工、接続構造などの細部構造および配筋も含めて、正確にモデル化する。	詳細度 300 に加えてロックボルトや配筋を含む全てをモデル化（トンネル）トンネル本体や坑口部、箱抜き部の配筋、内装版、支保パターン、補助工法の形状の正確なモデル化。	
500	対象の現実の形状を正確に表現したモデル	—	—

は難しい。

そこで BIM で用いられている建物を構成する全てのオブジェクト（例えばドアや窓）の体系的表現方法の仕様を定義したファイル IFC を採用することとした。

IFC は BIM の進展とともに国際的非営利組織である building SMART International（以下、bSI という。）が開発を進め、2013 年には国際標準化されている ³²⁾。IFC は多数の CAD ソフトでの入出力が可能である。

土木分野での採用にあたって、bSI が属性情報付与のルールについて分野毎に研究開発を進めている（道路：IFC-Road、鉄道：IFC-Railways、橋梁：IFC-Bridge、トンネル：IFC-Tunnel、港湾：IFC-Harbour & Port）。

bSI の日本組織である bSJ が国内の要望等を取りまとめ、bSI の各分野への活動に参加している。

土木版の IFC が研究段階のため、ガイドラインでは、IFC ファイルに加えてオリジナルファイルの使用を暫定的に定めている。交換ファイル形式はモデル毎に以下のように定めている。

- ・線形、土工形状、地形、広域地形モデル：LandXML フ

ファイル

- ・構造物モデル：IFC ファイル
- ・地質・土質、統合モデル：オリジナルファイル

オリジナルファイルは、使用するソフトウェアに依存するという課題があるため、各ソフトウェアで相互利用でき、依存の無い IFC ファイルの発展が期待されている。

(6) CIM の今後

CIM 導入推進委員会では、2017 年 3 月 24 日開催の第 3 回委員会において、CIM の段階的な拡大方針（案）を示している（図-2.19）。

段階は 3 段階で、STEP1 は、効果が見込まれる業務・工事において 2017 年度より運用を開始する。STEP2 は、2020 年度までに活用充実に向けた基準類の整備やシステム開発を推進する。STEP3 は、2025 年度までの概ね 5 年で CIM モデルを用いた維持管理を導入し、2025 年度以降には CIM 活用を原則化する。

原則化の段階で建設生産プロセス全体における生産性の 2 割向上を目指している。

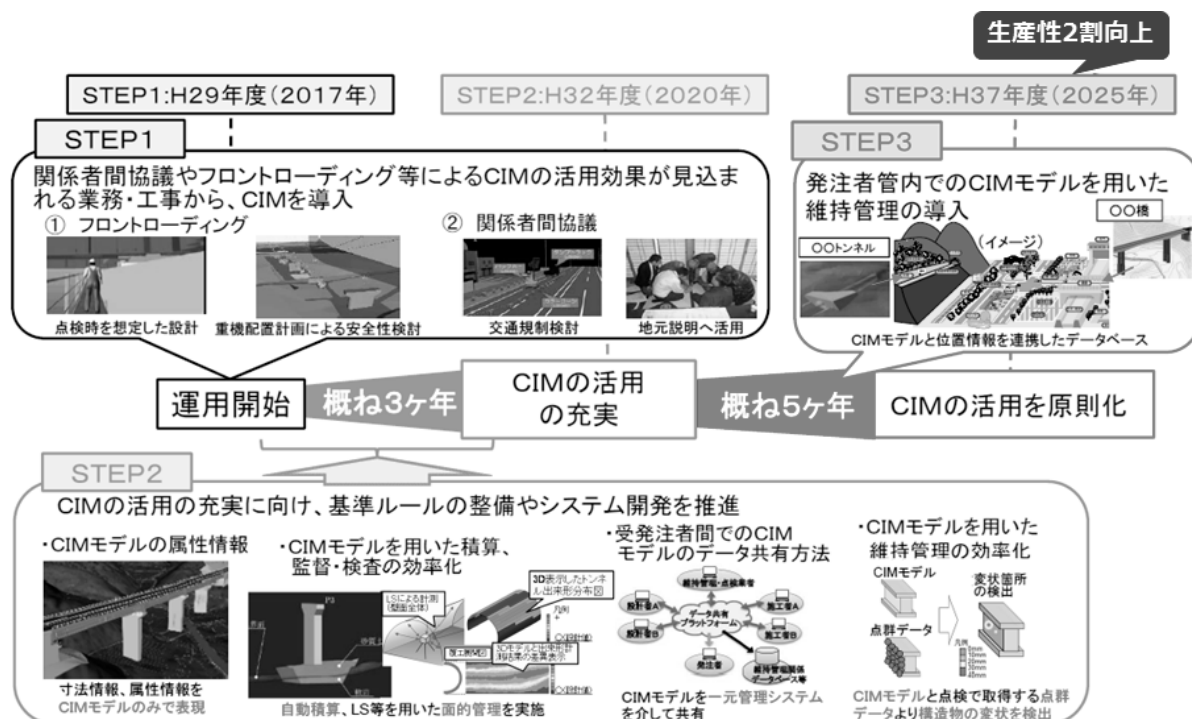


図-2.19 CIM 拡大方針 (案) 33)

3. 港湾分野における ICT の活用状況

3.1 港湾における ICT 活用の歴史

従来、港湾における位置出し測量の方法として、スチールテープや検綱、六分儀やセオドライトが用いられていた。海上には計測点を設置できないため、必要な都度、同様の測量作業を繰り返していた。一方、水深を測る深淺測量には、レッド (測深錘) やシングルビーム (以下、SB という。) 式の音響測深機が用いられ、点や線で捉える測量を行ってきた。

1993 年米国が軍用に運用していた衛星測位システムである GPS (Global Positioning System) の民生利用を開始すると、こちらも軍用技術として技術発展していた複数の音響ビームを発して水深値を得るナローマルチビーム (以下、NMB という。) 音響測深機とともに港湾工事に導入された³⁴⁾。

NMB 測深機と誤差数 cm の高精度な即位を可能とした RTK-GPS が連動した測深システムにより、海底地形の 3 次元データの取得が可能となった。取得データより作成された鯨瞰図等により正確な海底地形の可視化が容易になった。

取得した 3 次元データの利活用としては、関西国際空港 2 期工事において造成地盤の沈下履歴データとして、人工島の不同沈下防止のための層厚管理に活用された³⁵⁾。

NMB は、機材が高額なため、関空 2 期等の大型工事で

の導入に留まり、広く普及したわけではなかった。2010 年前後から、一般的な浚渫工事の深淺測量や海上保安庁が管轄する水路測量時に、建設会社や測量会社の使用が広まりを見せている。

NMB 以外で導入された ICT としては、関空 2 期工事等で導入された GPS ブルドーザ (現在の MG ブルドーザの先駆け) や GPS ローラー (現在の GNSS 搭載締固め機の前駆け)³⁵⁾、羽田空港 D 滑走路工事に際して導入された AIS (Automatic Identification System, 船舶自動識別装置) 機能を有する船舶監視システム³⁶⁾ などがある。

Windows95 発売以降、一般的となったコンピュータを用いた各種施工管理システムも開発されており、港湾建設現場の生産性向上に寄与している。2008 年より原則実施されている、価格だけではなく技術を評価する総合評価落札方式による入札に対応するための各建設会社による技術開発が 3 次元データ等の ICT 活用をさらに進めている (図-3.1)。

衛星測位システムとして GPS のほかに、ロシアの GLONASS、EU の Galileo、日本の準天頂衛星等があり、総称として GNSS が用いられている。本節では、3 次元データ活用の歴史として、導入当時に唯一使用されていた GPS をそのまま記載している。以後本稿では、総称の GNSS で統一する。

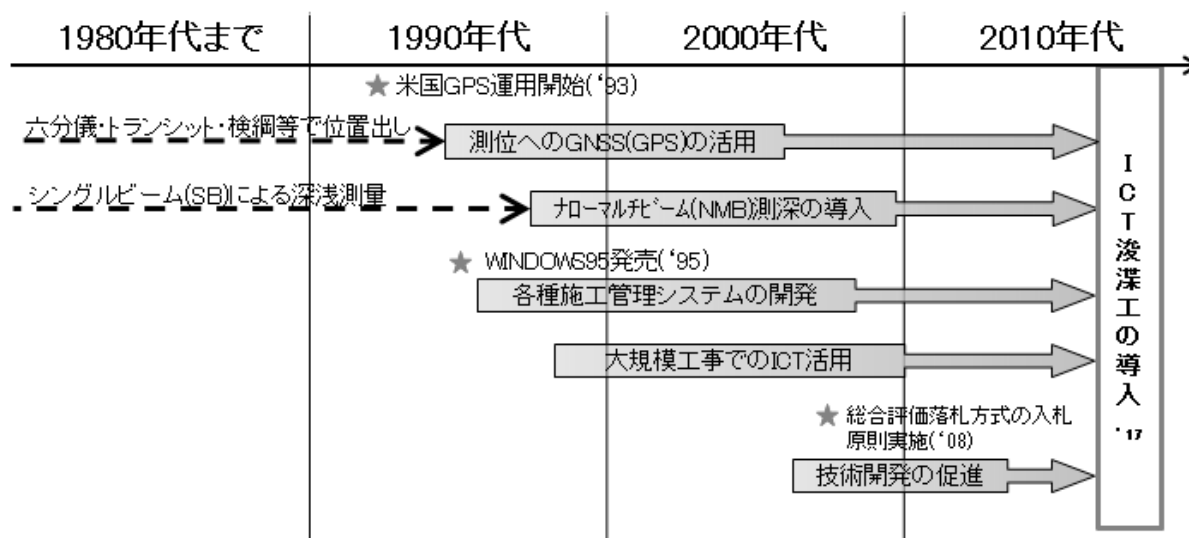


図-3.1 港湾工事における ICT・3次元データ活用の歴史

3.2 港湾工事の特性と3次元データの導入により期待される効果

(1) 港湾工事の特性

港湾分野が陸上と大きく異なる点は、対象領域に海を含む点である。この点は3次元データを導入する上で、特に考慮すべき事項である。ここで港湾分野の特性をまとめておく。

- ・海上、海中部分が多く出来形確認や進捗状況の把握が難しい。
- ・立ち入れない危険箇所が多い。
- ・波浪や潮流、風、透明度の影響が大きく作業日数が限定される。
- ・(数が限られた)大型の作業船や機械を使用する。
- ・大水深での作業があり、潜水災害のリスクがある。

港湾建設の現場では、作業日数が限られているため、効率向上の工夫を以前から行っていた。大型作業船を使用しており、以前から生産性が低い訳ではなかった。

(2) 港湾工事への3次元データ導入により期待される効果

3次元化の特徴と港湾分野の特性を踏まえ、港湾分野への3次元化導入により期待される効果を示す。

- ・海中の施工状況の可視化による施工性、品質の向上。
- ・危険箇所の可視化による安全性向上。
- ・作業方法の標準化、効率の改善による工期の短縮(費用の低減、人員の削減)
- ・工期短縮による作業船の効率的利用
- ・潜水士の危険作業減少による災害リスクの低減

3.3 ICT 浚渫工

(1) 導入モデル事業

2017年度からの港湾分野におけるi-ConstructionのICT活用工事の導入を目指し、2016年度にモデル工事を試行している。その成果が報告され、効果には3.2(2)で挙げたものが含まれている。

報告された成果として、むつ小川原港での試行について紹介する³⁷⁾。

a) モデル事業

- ・業務名:平成27年度むつ小川原港外港地区防波堤(東)被災状況調査。
- ・業務内容:平成28年1月の低気圧通過に伴う高波浪による、むつ小川原港外港地区の防波堤(東)の被災状況調査。
- ・防波堤延長:2,064m。
- ・調査方法:陸上 UAV 写真測量、海中 NMB 測量及び潜水目視調査。
- ・従来の調査方法:陸上 TS による測量、海中 SB 測量及び潜水目視調査。

b) 導入効果

費用低減効果として、ICT を活用した場合、従来に比べて830万円安価であった(図-3.2)。

人員削減効果として、ICT を活用した場合、従来に比べて186人日の削減ができていた(図-3.3)。

測量より得た3次元データから作成された3次元モデル(図-3.4)により現地状況が可視化され、潜水調査箇

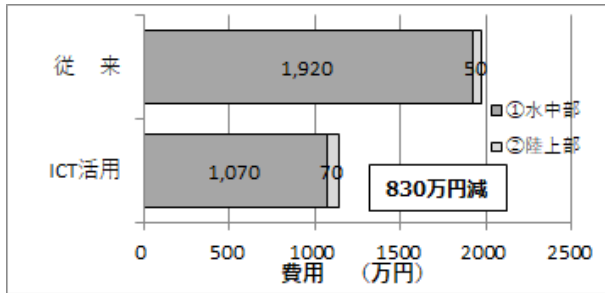


図-3.2 ICT モデル事業の費用低減効果 ³⁷⁾

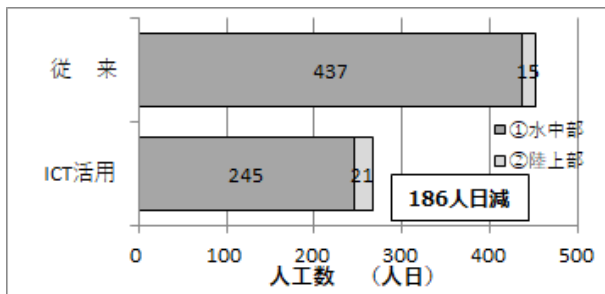


図-3.3 ICT モデル事業の人員削減効果 ³⁷⁾

所の選択と集中ができたことが費用低減と人員削減の大きな要因となっている。



図-3.4 被災箇所 の TIN モデル ³⁸⁾

また費用低減や人員削減といった生産性向上効果のみならず、UAV の使用により消波工や被災箇所へ作業員が立ち入ることなしに測量を実施したという安全性向上効果も報告されている。

(2) ICT 浚渫工の導入

2016 年度のモデル工事で実証された効果を踏まえ、2017 年度より港湾分野の i-Construction の ICT 活用工事として、施工プロセスの①3 次元起工測量、②3 次元数量計算、③3 次元出来形測量、④3 次元データの納品（①か

ら④を以下、4 つの施工プロセスという。）の各段階において ICT を全面的に活用する ICT 浚渫工が導入されることとなった。

施工プロセス各段階について、ICT 土工と浚渫工の項目を比較すると、表記の違いはあるが、土工の①②④⑤（2.3 (1)参照）は、浚渫工の 4 つの施工プロセスと一致する。土工の③ICT 建設機械による施工に該当する項目が浚渫工には無い（表-3.1）。これは、土工の MG や MC ブルドーザ等の ICT 建設機械に相当する浚渫工の建設機械である GNSS による位置誘導システムを搭載した浚渫船が既に標準化されているためである。

表-3.1 ICT 土工と浚渫工の施工プロセス比較

ICT土工		ICT浚渫工
① 3次元起工測量	→	① 3次元起工測量
② 3次元設計データ作成	→	② 3次元数量計算
③ ICT建設機械による施工	→	相当なし
④ 3次元出来形管理等の施工管理	→	③ 3次元出来形測量
⑤ 3次元データの納品	→	④ 3次元データの納品

ICT 土工導入時と同様に ICT 活用のための基準類が未整備だったので、モデル工事では、基準類策定のための検証が合わせて行われた。検証結果より、2017 年 3 月に 6 つの基準類と積算基準が策定された。新たに策定された基準類を表-3.2 に示す。以下に港湾における ICT 活用の象徴的な測量機械である NMB 測量の概要と新基準類のうち、代表的基準の特徴を述べる。

(3) NMB 測量概要

NMB 測量は 256 本の音響ビームを扇状に照射し、船の進行とともに面的に多数の点の水深値を測るシステムである。

従来の SB 式が幅 6～20° の音響ビームを 1 本直下に照射するのに対して、NMB は 256 本のビームを 160° までの範囲に照射できるため広範囲の測量に非常に有利である（図-3.5）。

NMB には、等角度モードと等間隔モードの 2 つのビームの照射方法があり、必要な取得点密度を満足するような航行計画を立てるため、160° まで調整できる全体ビーム幅とともに選択できる。

浚渫工においては、堀り残しが無いことを確認するために、浚渫区域全面を網羅するよう未測深幅が 0 になるような測線間隔を設定する。照射角度が広い NMB では測線間隔を広く設定でき効率的に測量を行える。

表-3.2 ICT 浚渫工新基準一覧(2017 年)

		名称	概要	備考
測量等	①	マルチビームを用いた 深浅測量マニュアル(浚渫工編)(案)	NMBを用いた深浅測量方法, 3次元データ作成法について策定	新規
	②	地方整備局(港湾空港関係)の 事業における電子納品等運用ガイドライン	成果品である3次元データの 納品方法を追加	改訂
施工	③	ICTの全面的な活用(ICT浚渫工)の 推進に関する実施方針	ICT全面活用の範囲・体制・推進のための 措置等を策定	新規
	④	3次元データを用いた 港湾工事数量算出要領(浚渫工編)(案)	3次元データを用いた 数量計算方法を策定	新規
	⑤	3次元データを用いた 出来形管理要領(浚渫工編)(案)	NMB測量による面的な 出来形管理方法について策定	新規
検査	⑥	3次元データを用いた出来形管理の 監督・検査要領(浚渫工編)(案)	⑤新設に伴うの監督検査方法について策定	新規
積算基準		ICT活用工事積算要領(浚渫工編)(案)	NMB測量の費用計上方法を策定	新規

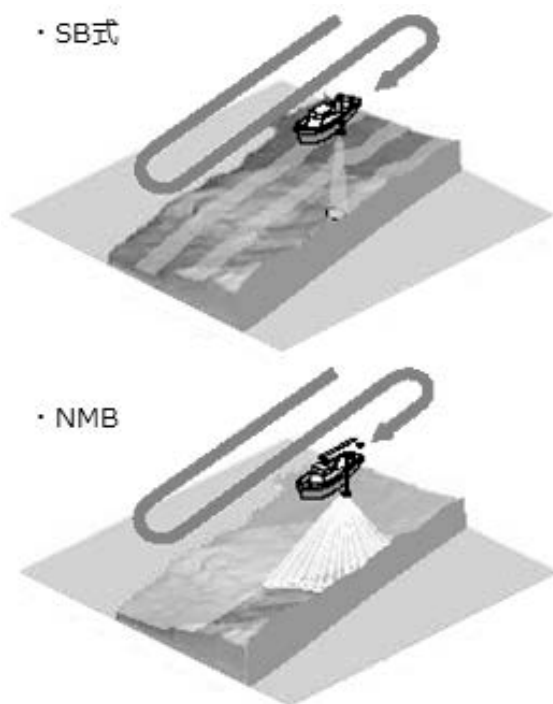


図-3.5 深浅測量 SB と NMB ³⁹⁾

NMB では、測深機本体や周辺機器を水面に対し、出来るだけ水平垂直に艀装することを基本としているが、取り付け誤差が必ず発生する。この取り付け誤差は 3 次元各軸方向の角度のずれ、

- ・ロール：船の前後方向の軸に対する角度.
- ・ピッチ：船の左右方向の軸に対する角度.
- ・ヨー：船の鉛直方向の軸に対する角度.

で表され、バイアス値と呼ばれる。

このバイアス値は、データ転送時間等によるデータの収録遅延であるレイテンシーとともにバッチテストで求められる。テストで得られたバイアス値等は、正確な測量データを得るために収録データに反映させる(図-3.6)。

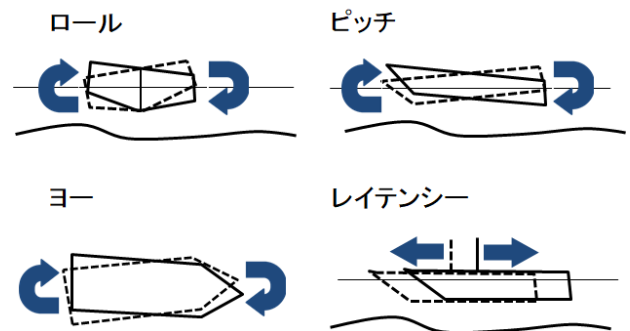


図-3.6 バイアス値 ³⁹⁾

水深 10m の区域の測深を考える場合、未測深幅が 0 になる測線間隔は、SB 式(ビーム幅 16°)では 2.5m 以下、NMB (等角度モード、ビーム幅 0.5°)では 40m 以下となる。SB 式では、NMB の 16 倍多く航行する必要がある。ただし一般的に SB の素子を複数設置して測深するため、これより効率は向上する。

NMB では UAV や LS と同様に現地測量の後に、3 次元データ作成のためのデータ解析が必要となる。データ解析で労力を要するのがノイズの除去である。

音響測深のノイズとしては、電気的ノイズ、音波の反射、海中の気泡、浮遊物、魚群等がある。測量している深度から明らかに離れた位置のノイズは閾値を設けて解析ソフトにより統計的に削除することができる。しかし、測深箇所付近等においてノイズかどうかの判断に迷うデータについては、解析者の経験や感覚に負うところが大きいと特に時間を要する。

(4) 計測精度と取得点密度

浚渫工における NMB 測量の基準が未整備だったため、測量方法、使用機器、3 次元データ作成等についてまとめた「マルチビームを用いた深浅測量マニュアル(浚渫工編)(案)」が策定された。

ICT 土工同様に計測精度と取得点密度について定めている。計測精度は±10cm 以内、取得点密度は 0.5m×0.5m メッシュ当たり 3 点以上としている³⁹⁾。

海中の測量では、陸上と異なり座標既知点を直接確認することができない。このため精度の検証には、井桁測線を設定し、双方向から航行測深し重複部の水深差で評価する方法が提案されている（図-3.7）。

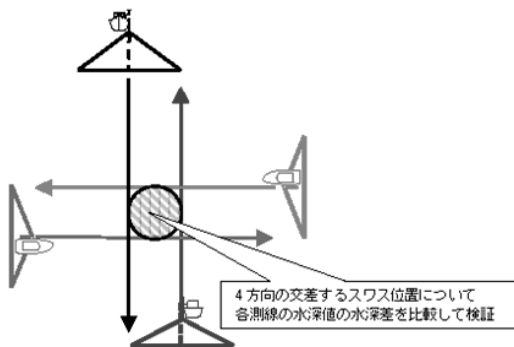


図-3.7 NMB 精度確認井桁測線³⁹⁾

計測精度±10cm について、海上保安庁が管轄する水路測量を実施する場合に適用される海上保安庁告示第 102 号の別表第二⁴⁰⁾が定める

$$\sqrt{0.5^2 + (0.013d)^2} \quad [\text{m}] \quad (\text{式 3.1})$$

d: 水深 [m]

より厳しいという意見も出されている（4.3(2)、表-4.1 参照）。これは、特級水域である東京湾中央水域、備讃瀬戸水域、関門水域⁴¹⁾を除く殆どの港湾において適用される。

取得点密度の 0.5m×0.5m メッシュ当たり 3 点以上については、全体のメッシュ数のうち 90%以上のメッシュが満足し、かつ満足しないメッシュが連続して存在しないという項目が加えられている（図-3.8）。

0.5m×0.5m メッシュ当たり 3 点以上取得したデータは、用途によりメッシュ毎に 1 点抽出し、点群データを作成する。抽出する 1 点について、数量計算に用いる場合は中央値、出来形管理に用いる場合は最浅値としている。

これらの計測精度や密度の基準は、2016 年に実施されたモデル事業における検証より設定されている。

(5) 数量算出方法

ICT 土工同様に 3 次元点群データを用いた 3 次元 CAD による数量算出方法が未整備であったため、「3 次元データを用いた港湾工事数量算出要領（浚渫工編）（案）」が

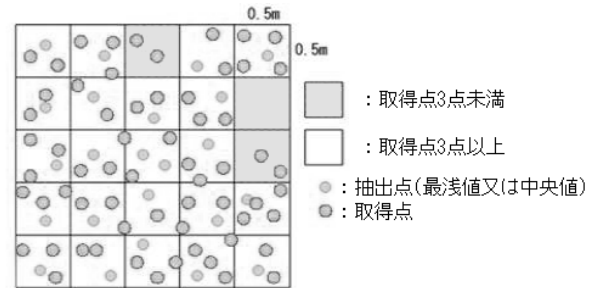


図-3.8 取得点密度の確認³⁹⁾

策定された。ICT 土工が定めた「土木工事数量算出要領（案）」に示されている 3 つの方法のうち、TIN 法とプリズモイダル法を規定している⁴²⁾。

原地盤の TIN モデルと一様な面の設計水深とで算出される設計浚渫土量は TIN 法、原地盤と浚渫後の出来形地盤の 2 つの TIN モデルで算出される出来形浚渫土量はプリズモイダル法を用いることとなる。

(6) 出来形管理の許容範囲

3 次元出来形データを評価する管理基準についても未整備だったため、「3 次元データを用いた出来形管理要領（浚渫工編）（案）」が策定され、出来形管理基準の許容範囲が整備された。

許容範囲は、従来のレッドや SB 式の深浅測量によるものと同様に 0cm 以下（設計値より深いこと）である⁴³⁾。

ICT 土工では、UAV や LS の計測精度を加味し、個々の計測値の基準を緩和し、平均で従来の規格値を満足するものが設定されているが、ICT 浚渫工では現状においてそういった措置は無い。浚渫での出来形測量は、海上保安庁が管轄する水路測量を兼ねて行うことを想定しており、水路測量では、全てのデータが所定水深以下であることにより合格となるため、基準は緩和されていない。

ICT 土工では「規格値」という用語を用いているが、港湾工事共通仕様書において、「許容範囲」を用いているため本稿では港湾分野においては「許容範囲」を用いる。

(7) データ納品方法

ICT 浚渫工の納品データも i-Construction が目指す建設生産プロセス全体において一貫利用される 3 次元データであり、各段階において交換できる必要がある。

「3 次元データを用いた出来形管理要領（浚渫工編）（案）」においてファイル形式を LandXML ファイル及び CSV や XYZ 等のテキストファイルと定めている⁴³⁾。

(8) カイゼンの予定

国土交通省では、2017 年度直轄工事において約 30 件の ICT 浚渫工の試行を予定している。試行工事において、導入効果の検証や課題を抽出し、ICT 土工と同様に基準類のカイゼンが行われる予定である。

4. 港湾分野における 3 次元データ等の活用に関する検討

4.1 検討概要

本章では浚渫工に続き 3 次元データ等の活用を導入する港湾分野についての検討を行う。検討内容は、港湾工事全体及び各工程に係る 4 つの施工プロセス及び ICT 建設機械による施工（情報化施工）に ICT を全面的に活用した場合の効果と課題を比較することにより、効果が期待される工種と試行時に考慮すべき事項を提案・提示することである。

図-4.1 に本章での検討フローを示す。

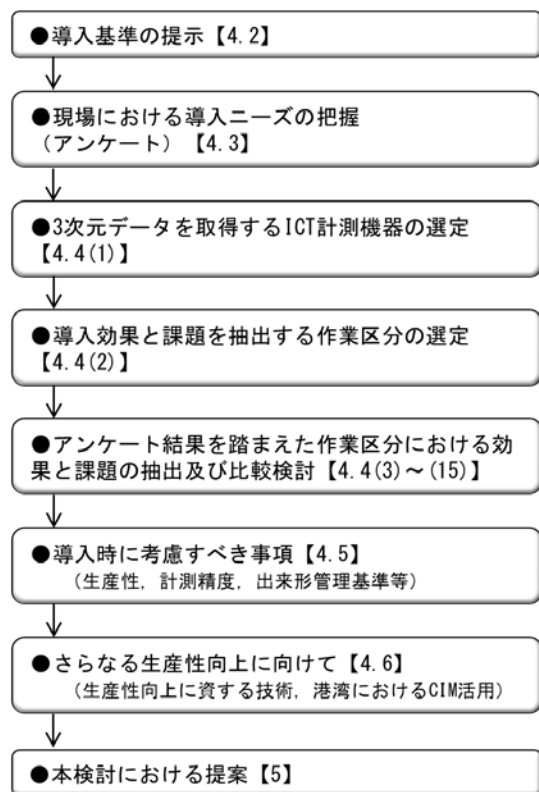


図-4.1 4 章検討フロー

4.2 導入基準の提示

本節では、導入効果と課題を比較検討した際の導入基準を示す。基準は、生産性や安全性、品質が導入により向上するか否かの定性的な指標である。

まず、当該の施工段階そのものに導入効果が期待できるものとして、Ⅰ．作業自体の効率が向上するもの（以下、Ⅰ．効率が向上という。）、Ⅱ．作業自体の品質や安全性が向上するもの（以下、Ⅱ．安全性が向上という。）の 2 つを挙げる。これらは、導入により効率や安全性の向上が期待でき、挙げられた課題については基準やマニュアルの整備で克服できるものである。Ⅱ．安全性が向上する場合でも、極度に効率が低下してしまう場合もあるため、2 つとも満たすものを導入基準の 1 つ目とする（基本的には効率と安全性等の片方が極度に下がることとする。以下、導入基準 A という）。

導入基準 A に含まれないもので、取得した 3 次元データを後工程（継続工事や維持管理段階）で利用した場合に効率向上等の効果が期待できるものがある。これは i-Construction が目指す建設生産プロセス全体での生産性向上に合致するため、過度に当該の施工段階そのものが非効率にならない等の方策を定めたうえで導入を進めるものとする。これを 2 つ目の導入基準とする（以下、導入基準 B という）。

導入基準に適合しない過度に効率が低下するものや現状で克服できない課題があるもの等については今後導入を検討するものとする。

図-4.2 に適用基準への適合確認フローを示す。

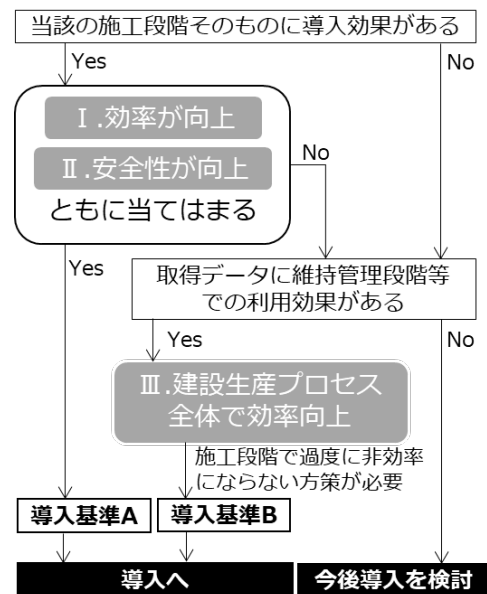


図-4.2 導入基準適合確認フロー

4.3 現場のニーズの把握

検討の実施にあたり、現場のニーズの把握のためにアンケートを実施した。以下に概要と結果及び分析を示す。

アンケート票は巻末の付録 A、回答及び集計を付録 B

に示す。

(1) アンケート概要

- ・アンケート名：港湾工事における i-Construction の拡大についてのアンケート（以下、施工アンケートという。）
- ・対象者：（一社）日本埋立浚渫協会理事会社 11 社
- ・実施期間：2017 年 10 月 3 日～11 月 8 日
- ・回答数：12（2 件回答した会社あり）
- ・質問事項：以下①～⑥を選択式及び記述式で実施
 - ①ICT 浚渫工の生産性向上効果や課題等について
 - ②NMB 測量の実情及び SB と比較した生産性、性能、使い勝手等について
 - ③NMB 以外の UAV, LS 等の ICT 計測機器の港湾分野への導入について
 - ④浚渫工に続く ICT 活用工事について
 - ⑤3 次元 CAD などのソフト導入状況について
 - ⑥i-Construction についての自由意見

以下に質問毎の結果と分析を示す。

(2) ICT 浚渫工の生産性向上効果や課題等について

a) 回答結果

ICT 浚渫工の生産性向上効果は、「大きい」が 50%、「小さい」が 25%であった（図-4.3）。

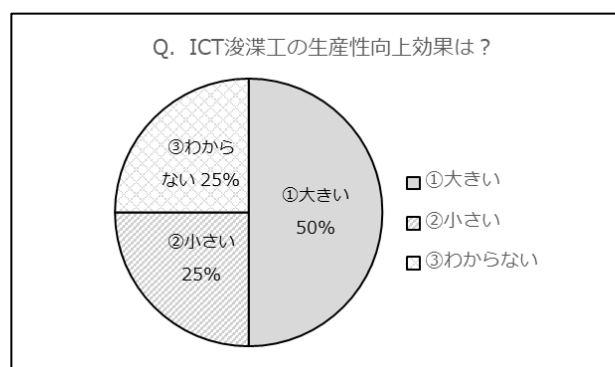


図-4.3 施工アンケート結果 (1)
(ICT 浚渫工の生産性向上効果の大小)

向上効果の大きいものとして、「測量・数量計算作業の効率化」が 42%、「海中の可視化」が 34%であった（図-4.4）。

課題は、「機械及びソフトへの投資」が 34%、「手待ちの発生」、「NMB 等の操作技能の向上」がそれぞれ 25%であった（図-4.5）。

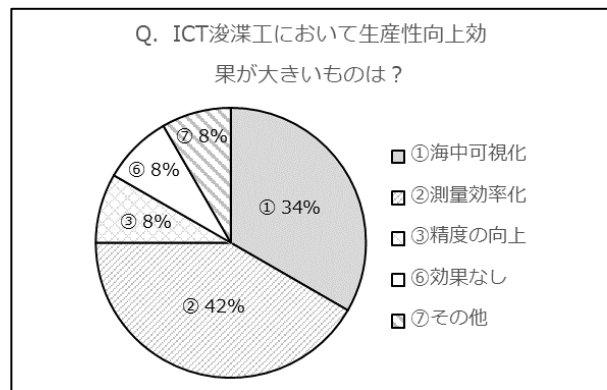


図-4.4 施工アンケート結果 (2)
(ICT 浚渫工の生産性向上効果が大きいもの)

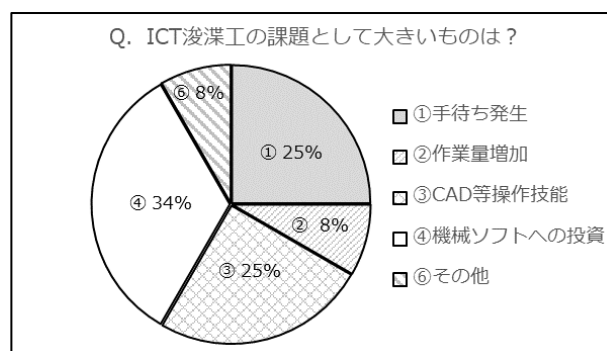


図-4.5 施工アンケート結果 (3)
(ICT 浚渫工の課題)

表-4.1 に ICT 浚渫工の効果と課題として挙げた代表的意見を示す。

b) 分析

ICT 浚渫工により生産性は上がる。しかし NMB の解析に時間を要し非効率になる場合があり、浚渫工より施工範囲が狭い工事では影響が大きくなる可能性がある。

課題として、複数回答があった解析中の手待ち発生、NMB 等の操作技能、機器類とソフトが高額の 3 つは、浚渫工に続く ICT 活用に際しても課題になると思われる。

ICT 浚渫工は、本検討の範疇外であるため、ICT 浚渫工自体の生産性について本検討では取り上げない。使用される NMB は本検討において主要な部分を占める機器であるため、浚渫工に続く ICT 活用に関する NMB 固有の効果と課題に係る意見は取り上げるものとする。

表- 4.1 ICT 浚渫工の効果と課題(施工アンケート)

	代表的意見
効果	・一度に広範囲の海底状況を把握できる (A 社). ・海中の可視化による掘り残し, 手戻りの削減 (複数). ・3 次元データ利用による数量計算の省力化 (B 社).
課題	・ノイズ除去等解析に時間を要し, 手待ちが発生することもある (複数). ・3 次元設計データ作成が負担 (C 社). ・自社職員の NMB の操作技能向上 (複数). ・NMB, 解析ソフト, 3 次元 CAD が高価である (複数). ・計測精度±10cm が厳しい (複数, 問題なしも 1 社あり D 社).

(3) NMB 測量の実情及び SB と比較した生産性, 性能, 使い勝手等について
 ここでは, NMB 測量自体と浚渫以外への NMB の導入について記載している.

a) 回答結果

NMB 測量の実施は, 「外注」が 83%を占め, 「自社」で実施の 17%を大きく上回った (図-4.6).

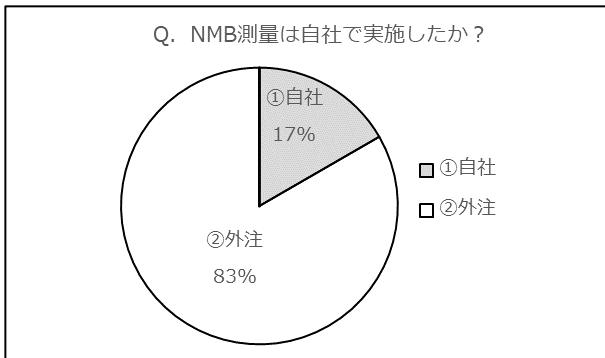


図-4.6 施工アンケート結果 (4)
 (NMB 測量の実施形態)

実施目的では, 「浚渫工事の測量」の 50%に次ぎ, 「浚渫以外の工事の測量」が 42%であった (図-4.7).

導入経緯として, 「技術提案」が 42%, 「測量の効率化」が 33%, 「水中可視化技術の研究開発」が 25%であった (図-4.8).

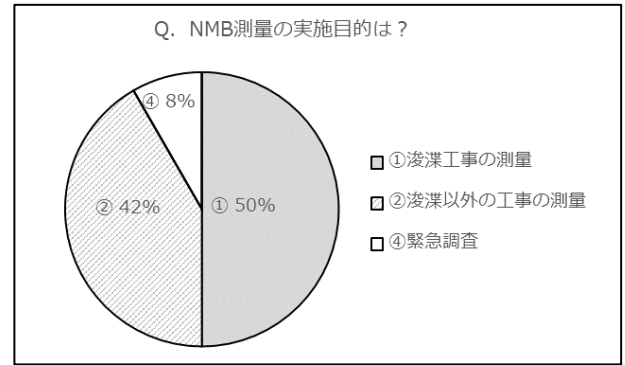


図-4.7 施工アンケート結果 (5)
 (NMB 測量の実施目的)

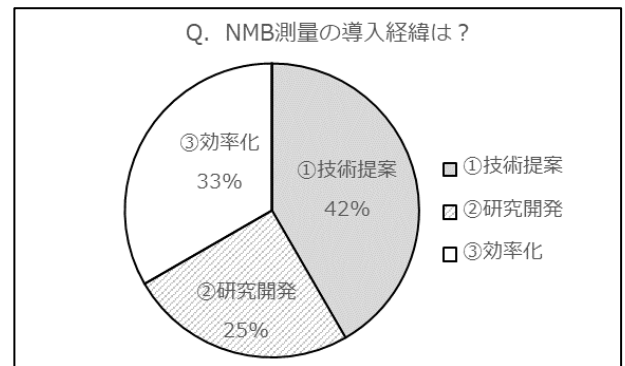


図-4.8 施工アンケート結果 (6)
 (NMB 測量の導入経緯)

従来の SB との生産性比較については, 「上がる」が 83%を占め, 「下がる」は 0%であった (図-4.9).

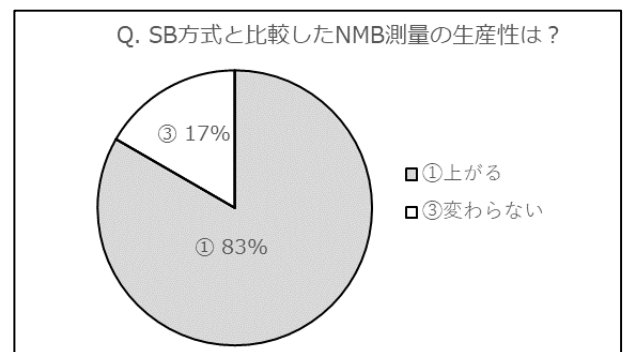


図-4.9 施工アンケート結果 (7)
 (NMB と SB の生産性比較)

SB より生産性が下がるとの意見は無いが, 解析待ちの工程への影響を懸念する意見が挙げられた.

NMB と SB の使い勝手について, 「一長一短」との回答が一番多数の 58%を占めた (図-4.10).

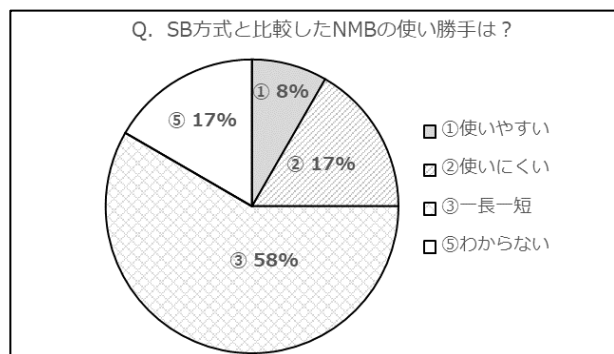


図-4.10 施工アンケート結果 (8)
(NMB と SB の使い勝手の比較)

取得点密度、計測精度については、目的や対象に応じて設定する必要があるとの意見が多数寄せられた。

過去の実施における解析に要した時間は、ばらつきがあった。2 日～1 週間との回答で、測量面積を記載した回答もあったが、同じ所要 2 日でも面積が 10 倍以上違うケースがあった。

解析における課題は、適度なデータ量への調整、解析ソフトの改良（操作性、ノイズ除去自動化等）などが挙げられた。

表-4.2 に NMB の効果と課題の代表的意見を示す。

表-4.2 NMB の効果と課題(施工アンケート)

	代表的意見
効果	・ビーム幅が広いことによる測量範囲の拡大と精度向上（複数）。 ・詳細データの取得による施工計画の詳細化、手戻りの削減、数量計算の迅速化（複数）。 ・海中の可視化による安全性向上、手戻りの削減（複数）。
課題	・システムが複雑で機装に多大な労力（複数）。 ・解析に時間を要する（多数）。 ・狭い範囲では却って非効率に（E 社）。 ・目的に応じた取得点密度の設定。複雑な場所は密に、平坦な場所は粗に。許容範囲の厳しい捨石本均しや形状把握のためのブロック据付は密に。後々の解析や利用に影響しない適度なデータ量に（多数）。 ・目的に応じた計測精度の設定（複数）。 ・計測精度の基準（ICT 浚渫工であれば±10cm）の達成率の設定（B 社） ・解析ソフトの操作性等の改良（複数） ・解析ソフトが高価（複数）。

b) 分析

NMB は浚渫工に特化した測量技術ではなく、他工種に適用できる可能性を示す意見が多かった。

外注での実施が多く、解析に要する時間は測量会社により差異があり単純比較できない。更なる利用による技術の向上とデータの蓄積が必要である。

解析に時間を要する制約の中で、稼働日数に限りがある港湾では、待機を生じさせないことを前提に生産性や安全性向上につながる導入工種を選び、工種に合った適用範囲、計測精度、取得点密度等を定める必要がある。

(4) NMB 以外の UAV, LS 等の ICT 計測機器の港湾分野への導入について

a) 回答結果

近年普及が進む水中ソナー（4.6 参照）は、普及が進む（「港湾工事で」、「難易度が高い港湾工事で」、「港湾工事以外でも」）の 3 つの回答が 58%で、「高価なため普及が進まない」の 33%を上回った（図-4.11）。

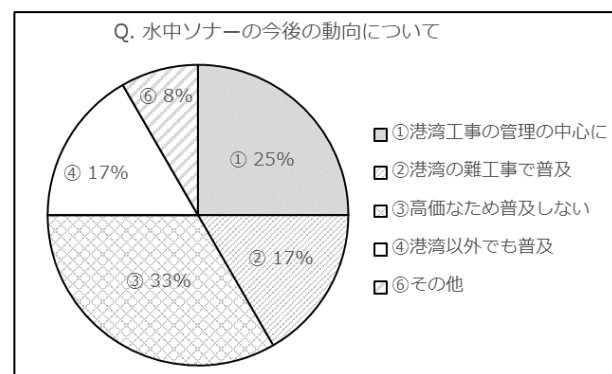


図-4.11 施工アンケート結果 (9)
(水中ソナーの今後の動向)

水中ソナーが「難易度が高い工事で」普及するとの回答の補足として、高価なため費用対効果が望める場合に限るとの意見があった。

陸上部への UAV, LS の導入効果については、「効果が期待できる」が 75%を占めた（図-4.12）。

期待するとの回答の補足として、岸壁前面等の直立部があること、海上に評定点が設置できないこと、波の影響がある水面付近のデータの取り扱い等、港湾の特徴に対しての言及があった。

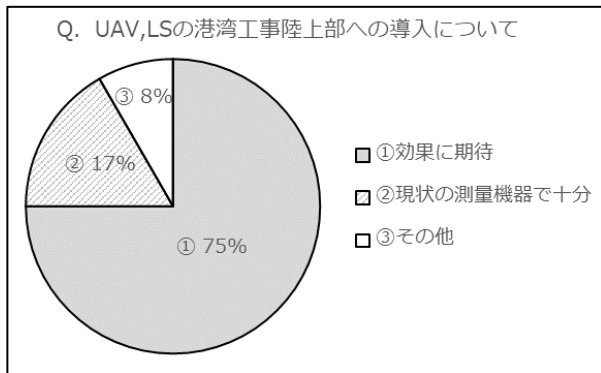


図-4.12 施工アンケート結果 (10)
(UAV,LS の港湾工事への導入について)

その他期待できる ICT 機器は、作業中のリアルタイム可視化技術、作業船の MC 化及び自動化、水中位置検知装置（水中 GNSS）、水中 MC 又は MG バックホウ、ICT 施工管理システム等が挙げられた。

機器の購入費や開発費への費用補助の仕組みが必要であるとの意見が複数寄せられた。

表-4.3 に NMB 以外の ICT 機器導入の効果と課題として挙げた代表的意見を示す。

b) 分析

効果が期待される機器類が多く、早期の検証と導入へ向けた動きが必要である。

港湾独自の現場条件にあった機器類の選定や測定方法が必要である。

水中ソナーほか高額な機器類が多く、如何に価格を下げるかが課題である。

新機器の導入や機器開発費等への補助の仕組み作りにあたり、費用対効果の検証が必要であるが、導入事例が少なく、今後のデータの蓄積が必要である。

(5) 浚渫工に続く ICT 活用工事について

a) 回答結果

3 次元点群データを活用するのによりと思われる工事として、「防波堤築造工事」が一番多く 50%、次いで「地盤改良工事」が 25%であった（図-4.13）。

「その他」として工事の種類に拘らずに、海中の可視化が生産性や安全性の向上につながる工種に導入すべきとの意見があった。

3 次元点群データの導入効果がある工種として挙げたのは、基礎工、消波工、裏込工、被覆工、埋立工等である。工事完成時の点群データが維持管理に有効という

表-4.3 その他 ICT 機器の効果と課題(施工アンケート)

	代表的意見
効果	・水中ソナーは大水深、視界が制限される海域で有効（A 社）。 ・UAV や LS は、消波ブロック上等の立入りが危険な場所への適用に効果あり（F 社）。 ・その他 ICT 機器として期待されるもの。 作業員がリアルタイムで認識できる可視化技術（複数）。 - 海中で GNSS の代替となる位置検知装置（G 社）。 - 均し作業への水中バックホウの活用（複数）。 - 安全性向上のための潜水士の位置情報システム（H 社）。
課題	・水中ソナーは高価かつ、リースもない（複数）。 ・水中ソナーは費用対効果が望める場合に限り普及する（D 社）。 ・UAV 等については、直立部、海上に評定点が設置できないといった既存の ICT 土工に無かった港湾独自の課題がある（A 社）。 ・条件が多様で必要な精度を確保するためにさらなる経験の蓄積が必要（A 社）。 ・水面付近のデータの合成方法や取り扱い方法（複数）。 ・その他 ICT 機器についての課題。 作業船の自動化は可能、安全性に課題あり（D 社）。 - 作業船の MC 化の開発費用が高額（C 社）。 - 高額な機器への導入費用補助が必要（複数）。

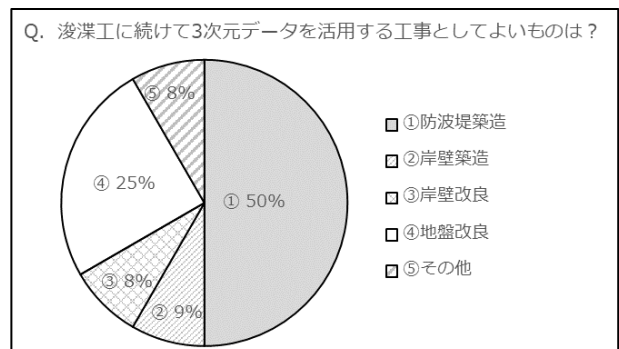


図-4.13 施工アンケート結果 (11)
(ICT 浚渫工に続く 3 次元データ活用について)

建設生産プロセス全体での効果を期待する意見もあった。

一方、現状導入が困難なものとして挙げたのは、海中の構造物（地盤改良工、杭等の根入部）、出来形管理基準が厳しい捨石本均しなどであった。

3 次元点群データ以外の活用として挙げたのは、さらなる精度向上が見込める GNSS による測位技術（船舶誘導、ブロック据付誘導、材料投入位置誘導等への利用）、人が近づけない箇所での写真撮影技術（UAV やラジコンボート）、作業員の健康状態を把握する技術、リアルタイム施工のための AR（Augmented Reality；拡張現実）技術等である。

表-4.4 に浚渫工に続く ICT 活用工事についての効果と課題の代表的意見を示す。

b) 分析

データ活用により工事の 2 位の地盤改良は、現状導入が困難なものの意見にも挙げたとおり、地中の改良体を 3 次元出来形測量をする技術がないため、設計データの 3 次元化や施工記録を反映した 3 次元モデルの作成といった CIM 技術の活用と盛上土砂撤去といった原地盤の把握への効果を期待しているものと思われる。

浚渫工に続く工事として防波堤築造工事への意見が多かったが、工事を構成する各工種の特性により、導入に向き不向きがあることが指摘されている。

よって工事に依らず効果のある構造や工種に着目して導入を検討する必要がある。

(6) 3 次元 CAD などのソフト導入状況について

a) 回答結果

整備状況としては、「整備中でまだまだ時間がかかる」が半数、「対象工事の都度準備する状況」が 33%で、「整備済み」の 17%を大きく上回った。

b) 分析

整備が進まない原因は高額であることで i-Construction を推進する上での大きな課題といえる。

陸上分野の ICT 土工等へ対応するソフトは多くあるが、港湾分野に対応するものが現状少ないことも整備が遅れている一因と考えられる。

ICT 浚渫工等の制度の進展とともに順次整備が進んでいくものと思われる。

(7) i-Construction についての自由意見

表-4.5 に代表的自由意見を示す。

本節で取り上げた施工アンケートの結果は、3 次元データ等の ICT 活用の拡大を行った場合に、施工者が現場で想定する事象である。

表-4.4 浚渫工に続く ICT 活用工事の効果と課題
(施工アンケート)

	代表的意見
効果	・ 沖合の位置把握がしやすくなる防波堤への導入が有効（A 社）。 ・ 長期の施工となる防波堤でデータ共有に効果あり。維持管理にも利用できる（複数）。 ・ 複雑形状の多い岸壁の把握に有効（I 社）。 ・ 地盤改良後の海中地盤の状況（盛上土砂）把握に有効（B 社）。 ・ 工事種類に依らず、海中の可視化が生産性、安全性向上につながるものへの活用がよい（A 社）。 ・ 3 次元データ等の ICT 活用が期待されるもの。 測定が困難な消波ブロックの把握に有効（複数）。 ・ ブロック据付や海中の出来形測量時の潜水作業軽減による安全性向上（複数）。 ・ 杭の出来形測量時の陸上（LS 等）からの測量による効率、安全性向上（A 社）。 ・ 海中の障害物撤去に有効（D 社）。 ・ 既設構造物と新設構造物の干渉確認に期待（G 社）。 ・ みちびきの登場による GNSS 精度向上を利用した機器（船舶誘導、ブロック据付誘導、材料投入位置誘導、船舶航行管理など）（A 社）。 ・ UAV、ラジコンボートによる撮影技術（A 社）。 ・ 作業員の健康状態を把握する技術（C 社）。 ・ 基礎工、消波工への水中ソナー＋AR（拡張現実）技術によるリアルタイム施工（J 社）。
課題	・ 防波堤では、NMB の解析待ちにより、限られた静穏日を逃し、工程に影響する懸念（F 社）。 ・ 3 次元データ等の ICT 活用についての課題。 地中構造物（地盤改良や杭の根入部）はデータ取得が困難（複数）。 ・ 出来形許容範囲の厳しい工種への適用が難しい（計測精度を上回る）（A 社）。 ・ 機器の低価格化と操作、解析技能者の増加（I 社）。 ・ 必要性がないものへは適用しない（K 社）。

次節の導入時に想定される効果と課題は、施工アンケートの結果を踏まえ抽出している。

表-4.5 i-Construction についての自由意見

分類	代表的意見
目的	・ ICT 導入を目的にしてはいけない（複数）
制度	・ 工程毎のパイロット事業が重要。従来方式との単純な生産性の比較のみならず、多様な構造物の要求仕様に対する測量自体の効率、生産性向上効果の検証が必要（A 社）。 ・ 新しい取り組みということで制度を見直しながら運用するため、現場で受発注者が協議しながら進めていく体制が望ましい（B 社）。 ・ （制度が進んだ後の）3 次元データの使用条件について、民間利用は可能となるのか、仕組みが必要（H 社）。
技術	・ NMB の解析時間の短縮が必要（F 社）。 ・ ICT を活用したシステムの汎用性の高度化が必要（J 社）。
生産性	・ 生産性向上に資する機械、ロボットの開発について、施工者が行うには負担が大きい。官民で開発できる仕組みが必要（C 社）。 ・ ICT の初期投資は高額、導入当初は経済性の向上には繋がらないこともあるが、生産性向上が喫緊な課題のため、国の支援が必要（D 社）。 ・ 効率が向上しても、経費が多くなると企業としては厳しい。コストアップ分の工事価格への反映が必要。普及が進めば将来的コストダウンにつながる（複数）。

4.4 導入時の効果と課題の比較検討

(1) 3 次元データを取得する ICT 計測機器

ここでは ICT 浚渫工に続く 3 次元データ等の ICT 活用を検討する際に考慮する 3 次元データを取得する計測機器について記載する。本章の検討では、既存の 4 つの施工プロセスと情報化施工を対象としているので、標準化（ICT 活用工事における基準化）が済んでいる機器を用いる。標準化していない新技術については、4.6 でさらなる生産性向上に資する計測技術として紹介する。

標準化済みの機器は、海中は NMB、陸上は写真測量に用いる UAV、UAV レーザー、LS、TS、GNSS ローバーである。表-4.6～4.8 に機器一覧を示す。

表中の普及度について、全国で普及しているものを「大」、全国規模の会社で使われ、地方の会社ではあまり普及していないものを「中」、実証試験や開発段階のものを「小」としている。

また即時性は、計測結果をリアルタイムにモニター表示できるか否かを表すものとする。NMB、写真測量に用いる UAV、UAV レーザー、LS は 3 次元データ作成のための解析に時間を要する。TS は現地測量後、測量結果から座標を算出する必要がある。GNSS ローバーは取得データの解析は必要ないが、多点測量には向かない。

表-4.6 検討(4 章)に用いる ICT 計測機器一覧(1/3)

ICT 計測機器名称	NMB	写真測量に用いる UAV
適用範囲	海中	陸上
標準化	ICT 浚渫工	ICT 土工
普及度	中	大
即時性	なし	なし
精度※	±10cm 以内 ³⁹⁾	±50mm 以内 ¹⁹⁾
特徴	海中を最も効率的かつ広範囲に測量	地物を効率的かつ広範囲に測量
課題・短所	浅海部のデータ精度、浚渫工以外への適用性	港湾構造物への適用性、特定点の測量が困難

※精度の単位は各種マニュアルの単位表記に合わせている。

表-4.7 検討(4章)に用いる ICT 計測機器一覧(2/3)

ICT 計測機器名称	UAV レーザー	LS
適用範囲	陸上	陸上
標準化	ICT 土工	ICT 土工, 舗装工
普及度	中	大
即時性	なし	なし
精度※	±50mm 以内 ⁴⁴⁾	(土工)±20mm 以内 ¹²⁾ (舗装工)鉛直±4 mm 以内 ⁴⁵⁾
特徴	構造物や地形の陰の測量が可能	地物を高精度に測量 (UAV より狭い範囲)
課題・短所	港湾構造物への適用性, 特定点の測量が困難 UAV 写真測量より高価	機械設置箇所が限定, 港湾構造物への適用性 特定点の測量が困難

※精度の単位は各種マニュアルの単位表記に合わせている。

表-4.8 検討(4章)に用いる ICT 計測機器一覧(3/3)

ICT 計測機器名称	TS	GNSS ローバー
適用範囲	陸上	陸上
標準化	ICT 土工, 舗装工	ICT 土工
普及度	大	大
即時性	なし	あり (x,y,z のモニター表示)
精度※	距離±(5mm + D×5.0×10 ⁻⁶)以内 D:計測距離[mm] ⁴⁶⁾	平面±20 mm 以内, 鉛直±30 mm 以内 ⁴⁷⁾
特徴	特定点の 3 次元座標を計算にて取得	特定点の 3 次元座標直接取得
課題・短所	機械設置箇所が限定 多点測量が非生産的	人の立ち入れる場所のみ測量可能 多点測量が非生産的

※精度の単位は各種マニュアルの単位表記に合わせている。

(2) 効果と課題を抽出する作業区分の選定

続いて現状考えられる 3 次元データ等の ICT 活用を行う場合の効果と課題を抽出する。抽出は、前節の施工アンケートの分析の工事に依らず効果のある構造や工種に着目して導入を検討する必要性を考慮して、工事において出来形管理, 検査を実施する作業単位である港湾工事工種体系ツリーレベル 4 毎に行う。ただしレベル 4 は多数あるとともに類似の内容のものが多いため、今回類似作業で整理した「作業区分」を定義し行った。

作業区分の選定手順は、図-4.14 のとおりとする。

- i) 出来形管理を実施する単位となる港湾工事工種体系ツリー⁴⁸⁾のレベル 4 から、港湾工事共通仕様書に出来形管理基準⁴⁹⁾が定められているものを選ぶ。
- ii) i) より頻度の高いものを選ぶ。
- iii) ii) より既存の ICT 活用工事に対応できるもの、地盤改良工事、仮設工を除く。
- iv) iii) について類似性のあるものに分類整理し、作業区分とする。

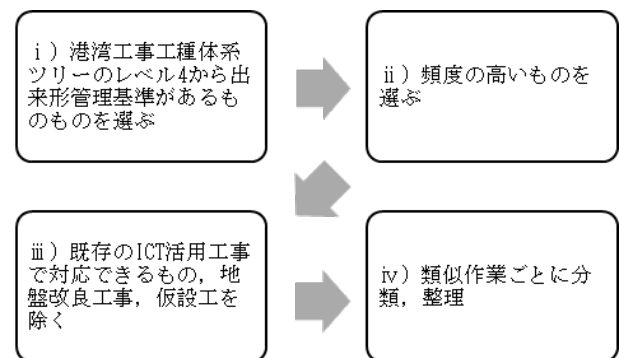


図-4.14 作業区分選定手順

選定した作業区分を表-4.9に示す。選定された作業区分をまとめ直したものが表-4.10になる。

iii) の既存の ICT 活用工事に対応できるものは、ICT 土工に対応可能な陸上の土砂掘削及び盛土、路床盛土、ICT 舗装工に対応可能なアスファルト、コンクリート両舗装工の下層路盤及び上層路盤、アスファルト舗装工の基層と表層、ICT 浚渫工に対応可能な、海中の床掘、盛

表-4.9 効果と課題を抽出する作業区分

港湾工事工種体系ツリー ⁴⁸⁾ (手順iii該当)			区分のための類似性	作業区分 (手順iv該当)
レベル 2	レベル 3	レベル 4		
基礎工	基礎捨石工	基礎捨石	機械による石材投入	(a)投石・均し
		捨石本均し	潜水土等による均し	(a)投石・均し
		捨石荒均し	潜水土等による均し	(a)投石・均し
	洗堀防止工	洗堀防止	マットシート敷設	(b)マット等敷設
本体工 (ケーソン式)	ケーソン製作工	マット	陸上でのコンクリート構造物製作	(c)ブロック等製作
		コンクリート	陸上でのコンクリート構造物製作	(c)ブロック等製作
	中詰工	据付	本体工の大型構造物の据付	(d)ケーソン据付
		砂・石材中詰	本体の中詰	(e)中詰投入
	蓋コンクリート工	蓋コンクリート	本体の蓋コンクリート	(f)蓋コンクリート打設
		据付	本体工の大型構造物の据付	(d)ケーソン据付
本体工 (ブロック式)	本体ブロック製作工	コンクリート	陸上でのコンクリート構造物製作	(c)ブロック等製作
	本体ブロック据付工	本体ブロック据付	本体工の大型構造物の据付	(d)ケーソン据付
	中詰工	砂・石材中詰	本体の中詰	(e)中詰投入
	蓋コンクリート工	蓋コンクリート	本体の蓋コンクリート	(f)蓋コンクリート打設
本体工 (鋼矢板式)	鋼矢板工	鋼矢板・鋼管矢板	矢板及び杭の打設	(g)鋼矢板等打設
	控工	控鋼矢板	矢板及び杭の打設	(g)鋼矢板等打設
		控鋼杭	矢板及び杭の打設	(g)鋼矢板等打設
		腹起	腹起タイ材一連作業	(h)腹起タイ材取付
		タイ材	腹起タイ材一連作業	(h)腹起タイ材取付
本体工(鋼杭式)	鋼杭工	鋼杭	矢板及び杭の打設	(g)鋼矢板等打設
被覆・根固工	被覆石工	被覆石	機械による石材投入	(a)投石・均し
		被覆均し	潜水土等による均し	(a)投石・均し
	被覆ブロック工	被覆ブロック製作	陸上でのコンクリート構造物製作	(c)ブロック等製作
		被覆ブロック据付	ブロックの据付	(i)ブロック据付
	根固ブロック工	根固ブロック製作	陸上でのコンクリート構造物製作	(c)ブロック等製作
		根固ブロック据付	ブロックの据付	(i)ブロック据付
上部工	上部コンクリート工	コンクリート	—	(j)上部コンクリート打設
付属工	係船柱工	係船柱	上部コンクリートに付属	(j)上部コンクリート打設
	防舷材工	防舷材	上部コンクリートに付属	(j)上部コンクリート打設
	車止・縁金物工	車止	上部コンクリートに付属	(j)上部コンクリート打設
		縁金物	上部コンクリートに付属	(j)上部コンクリート打設
	防食工	電気防食	鋼矢板等に付属する	(g)鋼矢板等打設
消波工	消波ブロック工	消波ブロック製作	陸上でのコンクリート構造物製作	(c)ブロック等製作
		消波ブロック据付	ブロックの据付	(i)ブロック据付
裏込・裏埋工	裏込工	裏込材	機械による石材投入	(a)投石・均し
		裏込均し	潜水土等による均し	(a)投石・均し
		吸出し防止材	マットシート敷設	(b)マット等敷設
舗装工	コンクリート舗装工	コンクリート舗装	コンクリート舗装	(k)コンクリート舗装
構造物撤去工	撤去工	石材撤去	機械による石材投入	(a)投石・均し
		ブロック撤去	—	(l)ブロック撤去

表-4.10 選定作業区分一覧

記号	選定作業区分	手順 iii) 該当工種体系 レベル 2-レベル 3-レベル 4 ⁴⁸⁾
a	投石・均し	基礎工-基礎捨石工-基礎捨石 基礎工-基礎捨石工-捨石本均し 基礎工-基礎捨石工-捨石荒均し 被覆・根固工-被覆石工-被覆石 被覆・根固工-被覆石工-被覆均し 裏込・裏埋工-裏込工-裏込材 裏込・裏埋工-裏込工-裏込均し 構造物撤去工-撤去工-基礎石撤去
b	マット等敷設	基礎工-洗堀防止工-洗堀防止 裏込・裏埋工-裏込工-吸出し防止材
c	ブロック等製作	本体工(ケーソン式)-ケーソン製作工-マット 本体工(ケーソン式)-ケーソン製作工-コンクリート 本体工(ケーソン式)-ケーソン進水据付工-バラスト 本体工(ブロック式)-本体ブロック製作工-コンクリート 被覆・根固工-被覆ブロック工-被覆ブロック製作 被覆・根固工-根固ブロック工-根固ブロック製作 消波工-消波ブロック工-消波ブロック製作
d	ケーソン据付	本体工(ケーソン式)-ケーソン進水据付工-据付 本体工(ブロック式)-本体ブロック据付工-本体ブロック据付
e	中詰投入	本体工(ケーソン式)-中詰工-砂・石材中詰 本体工(ブロック式)-中詰工-砂・石材中詰
f	蓋コンクリート 打設	本体工(ケーソン式)-蓋コンクリート工-蓋コンクリート 本体工(ブロック式)-蓋コンクリート工-蓋コンクリート
g	鋼矢板等打設	本体工(鋼矢板式)-鋼矢板工-鋼矢板・鋼管矢板 本体工(鋼矢板式)-控工-控鋼矢板 本体工(鋼矢板式)-控工-控鋼杭 本体工(鋼杭式)-鋼杭工-鋼杭 付属工-防食工-電気防食 付属工-防食工-防食塗装
h	腹起タイ材取付	本体工(鋼矢板式)-控工-腹起 本体工(鋼矢板式)-控工-タイ材
i	ブロック据付	被覆・根固工-被覆ブロック工-被覆ブロック据付 被覆・根固工-根固ブロック工-根固ブロック据付 消波工-消波ブロック工-消波ブロック据付
j	上部コンクリート 打設	上部工-上部コンクリート工-上部コンクリート 付属工-係船柱工-係船柱 付属工-防舷材工-防舷材 付属工-車止・縁金物工-車止 付属工-車止・縁金物工-縁金物
k	コンクリート舗装	舗装工-コンクリート舗装工-コンクリート舗装 道路舗装工-コンクリート舗装工-コンクリート舗装
l	ブロック撤去	構造物撤去工-撤去工-ブロック撤去

上土砂撤去，土砂掘削及び盛土そしてケーソン撤去である。

また，地中の 3 次元測量技術が確立されていない地盤改良工と 3 次元データの建設生産プロセス全体における一貫利用という目的から外れる仮設構造物が対象となる仮設工を iii) において除外している。

iv) の整理のための類似性とは，捨石本均しや被覆均

し等が該当する潜水土等による均しや被覆ブロック据付や消波ブロック据付等が該当するブロックの据付等である。潜水土による均しは基礎捨石や被覆石の投入後に行われることが一般的で一連の作業と考えられるため，これらはひとつの作業区分とする。

選定した 12 の作業区分毎に導入時の効果と課題を抽出する。

(3) 作業区分における効果と課題の抽出と比較検討

効果と課題の抽出の前提として、3次元データ等の ICT 活用を行う 4 つのプロセスのうち、①3次元起工測量と③3次元出来形測量についての現況について確認する。

起工測量は、契約後の早期に実施し、工事着手までに測量結果と数量計算書を提出する。結果の取りまとめと数量計算には数日要するために可能な限り早く測量を実施するのが一般的である。

出来形測量は、各工程（レベル 4）の終了時に行う。作業終了日またはその翌日に、受注者が自主出来形測量を実施、即日に成果をまとめて発注者へ施工状況検査願を提出、翌日施工状況検査（発注者立ち合いの下での出来形検査）を実施する。検査の合格後に次の工程へ移るのが一般的な流れである。港湾においては、波浪等により作業日数が限定されるため、測量後の成果取りまとめによる待機が生じないようにしている。

寸法や測深等の測量方法として、陸上はスチールテープやレベル、海中はスチールテープ、レベル（水中スタッフ使用）の他に水中水準測量装置や SB 式音響測深機を用いて、主に 10m 毎に設定される管理断面において測量を行う。一部では NMB も使用されている。

また位置出し測量は、陸上では GNSS の使用や基準点を設置し TS により行う方法が、海上では船上にて GNSS を使用することが一般的である。海中については、既設構造物からの追い出しと船上の GNSS や地上既知点からの見通しをもとに重錘を落とすことの組み合わせが用いられている。

以上の現況を踏まえ、前項で選定した作業区分毎に効果と課題を抽出し、比較検討の上で導入基準への適合を確認する。

(4) 投石・均し

a) 効果

NMB 導入により、SB で把握できなかった海底形状の詳細を把握できるようになり、追加投石や石材撤去の手間、又は把握できない箇所を無くすために SB の測線を増やすといった手間を削減できる（Ⅰ．効率が向上に該当、図-4.15）。

情報化施工として GNSS によるリアルタイムの平面位置情報を用いた投石位置誘導システム等の活用により施工の能率や精度（品質）の向上が期待できる（Ⅰ．効率が向上及びⅡ．安全性が向上に該当、図-4.16）。NETIS（新技術情報提供システム）に登録されているものには、投入能力増大により 18%の工程短縮効果があるとしてい

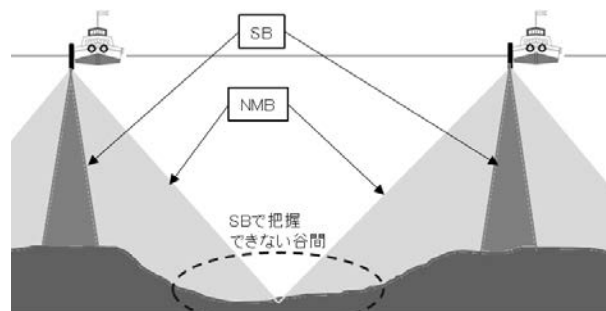


図-4.15 NMB による詳細な海底地形把握

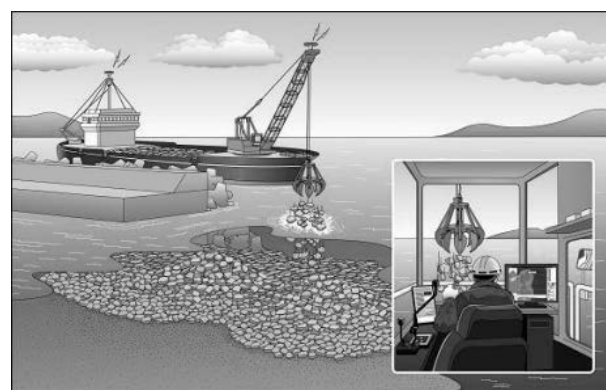


図-4.16 投石位置誘導システムイメージ⁵⁰⁾

るものがある⁵⁰⁾。

均しの現状の出来形測量は、10m 毎の管理断面において、10m 間隔の測点と変化点で高さを測っている。NMB の導入により、調査潜水士による目視確認だけであった中間部分の高さが確認できるようになり精度（品質）が向上する（Ⅱ．安全性が向上に該当、図-4.17）。

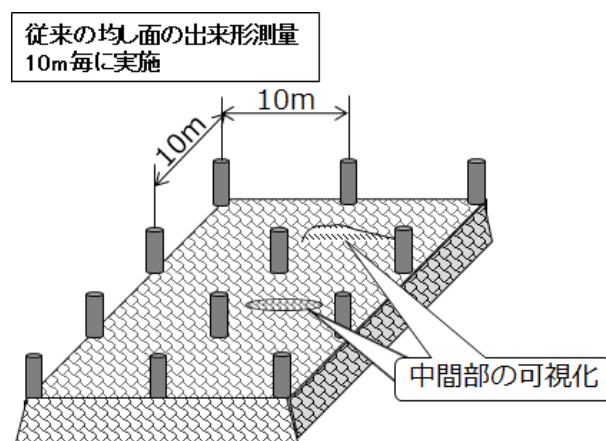


図-4.17 均し面中間部の可視化

海中の高さの測量は、潜水士が水中スタッフや水中水準測量装置を持って計測点 1 点ずつ移動し行う。1 回の測量につき、数十点測り、約 2～3 時間要する。その上、

施工状況検査の実施にあたり、当日のスムーズな検査実施のためにスチールテープや写真撮影用の測点ナンバー記載のプレート設置等の事前準備があり、潜水士の負担が大きい。NMB 導入により出来形測量時の潜水作業が削減される（Ⅱ. 安全性が向上に該当）。これは施工アンケートに寄せられた現場ニーズ（表-4.4）である。

裏込均しの陸上部分は、直接立ち入って測量を行っている。法面は滑りやすく海中転落のリスクが高い（図-4.18）。UAV や LS の導入により、法面へ立ち入ることなく測量が行えるようになる（Ⅱ. 安全性が向上に該当）。これは、立入りが危険な場所への適用に効果ありという施工アンケートに寄せられた現場ニーズ（表-4.3）でもある。



図-4.18 裏込工陸上部状況（筆者撮影，2011 年）

大規模な先行捨石工事は、施工範囲が広く、SB や潜水士による出来形測量に時間を要するため、NMB 導入で測量時間が短縮される。これは ICT 浚渫工でも確認されている効果である。

b) 課題

捨石本均しの出来形管理基準の許容範囲は $\pm 5\text{cm}$ である。一方 NMB の計測精度は、ICT 浚渫工が定める $\pm 10\text{cm}$ 以内である³⁹⁾。計測精度の方が大きいため、適用は現状厳しい。施工アンケートの結果（表-4.4）にある意見でもある。波浪等を考慮すると現状計測精度の大幅な向上は望めない。ただし ICT 土工のように、許容範囲に平均値を採用し、各測点の許容範囲を緩和する方策もある（2.3 (5) 参照）。以下同様の課題は、出来形管理基準（許容範囲）の検討と記載する。

捨石荒均しや被覆均しの許容範囲は $\pm 30\text{cm}$ （上載物がある場合）や $\pm 50\text{cm}$ である。均しを行わない投石面は $\pm 70\text{cm}$ であることが一般的である。 $\pm 50\text{cm}$ や $\pm 70\text{cm}$ を対象に計測精度 $\pm 10\text{cm}$ の NMB を使用することは過剰とも

思われる。許容範囲に応じた精度の緩和は検討の余地があり、廉価版の計測機器使用の可能性につながる。使用可能となる機器が増えることで制度の裾野を広げることができる。以下同様の課題は、許容範囲に応じた精度の妥当性検討と記載する。

施工アンケートの結果にも多くの懸念があった NMB 測量の解析による待機時間の発生については、現状大幅な解析時間の短縮は望めない。静穏度に係る稼働日数や工程上の余裕日数の有無により待機発生が許容されるかを事前に検討、協議し、工程に余裕のある範囲で導入するとよい（図-4.19）。以下同様の課題は、解析中の待機発生と記載する。

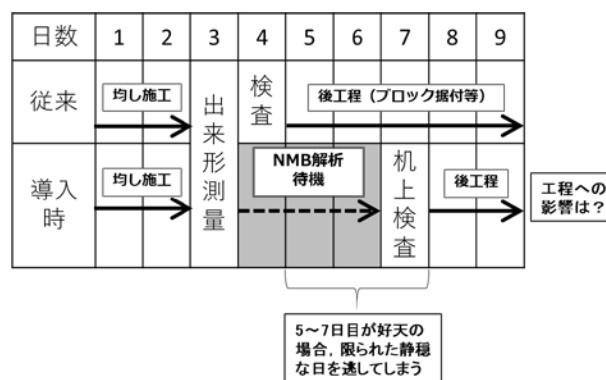


図-4.19 導入による解析待ちの影響例

施工アンケート結果の NMB の課題（表-4.2）として、目的に応じた取得点密度の設定が挙げた。捨石本均しなど高い精度が要求されるものは密に点群を取得するのが一般的である。一方で解析や後工程で利用するデータ量が膨大となり生産性が損なわれないようにする必要がある。均し面（図-4.20）では過度に密度を高くすると1,000kg 程度/個を扱う被覆均しなどで隙間を捉えてしまう懸念もある。試行時にデータ蓄積し、対象物毎に適切な点群密度を設定することが必要となる。以下同様の課題は、点群密度の検討と記載する。



図-4.20 捨石均し面（筆者担当工事で撮影，2009 年）

裏込均しは施工範囲が水陸両方になる場合がある。水陸両データの合成方法や取り扱いが課題であることは施工アンケートの結果(表-4.3)にも寄せられた。陸上(UAV写真測量等)と水中(NMB)の測量結果を合わせてシームレスな3次元データとする必要があるが、それぞれのデータの点群密度が異なる上に水面付近のデータの取得点密度が低くなる(図-4.21)。この水面付近のデータの検証事例が少ないため、試行時に標準部分に対して精度低下がないか等の検証が必要である。以下同様の課題は、水面付近データの妥当性評価と記載する。

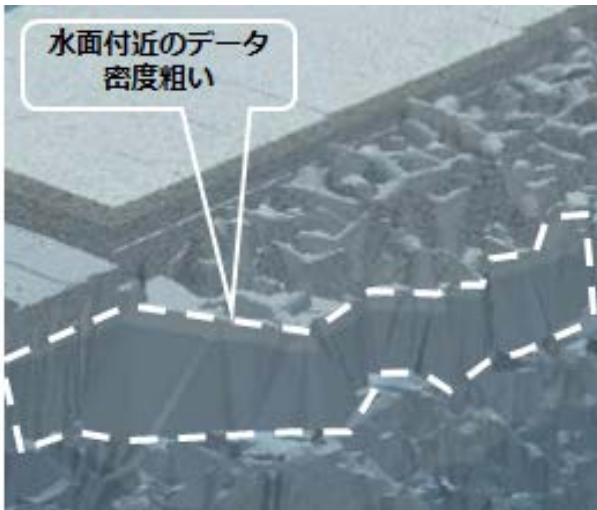


図-4.21 水面付近データ例³⁸⁾

裏込均しの水中部分はNMBで測量することになるが、浅海部分や狭隘な箇所には測量船が進入できない場合がある。ラジコンボート(無人航行船; Unmanned Maritime Vehicle, 以下, UMV という。図-4.22)にNMBを搭載し測量した事例⁵¹⁾はあるが、広く普及していない。UMVに搭載した際のNMBの精度検証法やマニュアル策定が必要となる。



図-4.22 UMV (Unmanned Maritime Vehicle) ⁵¹⁾

c) 比較検討

捨石本均しの許容範囲の課題を除き、何れも試行時の検証による基準、マニュアルの整備で克服できる可能性

が高く、現状導入を阻害するものはない。効果において、導入基準AのⅠ．効率が向上とⅡ．安全性が向上をともに満たしており、投石・均しへの導入を提案する。

(5) マット等敷設

a) 効果

情報化施工としてGNSSによるリアルタイムの平面位置情報を用いた誘導システム等の活用により施工の能率の向上が期待できる(Ⅰ．効率が向上に該当)。しかしマットの玉外しや微妙な敷設位置の調整を潜水土が行うことから潜水土の削減効果は薄い。

b) 課題

合成樹脂系の洗堀防止マットや吸出し防止材(不織布、ナイロンシート等)の厚みはNMBの分解能を下回る数mmのものが多く、敷設後にNMBでは認識ができないため3次元出来形測量ができない。

c) 比較検討

効果はⅠ．効率が向上のみ含まれ、導入基準Aを満たさない。また課題として3次元出来形測量ができないため導入基準Bも満たさない。

マット等敷設は今後導入を検討する。

(6) ブロック等製作

a) 効果

形状が複雑なスリットケーソン等のコンクリート体積計算が3次元CAD等を利用した3次元数量計算により容易になる(Ⅰ．効率が向上に該当)。

b) 課題

現状の出来形測量は、簡易に行え、十分品質が確保されている。3次元測量を導入した場合却って非効率となる可能性が高い。以下同様の課題は、3次元測量自体が非効率になると記載する。

仮に3次元出来形測量を実施したとしても、製作されたブロック等は別の場所に据え付けられるため、据付後の3次元データが維持管理段階では必要になる。後工程でのデータの必要性は低いといえる。以下同様の課題は、データ取得の必要性和記載する。

数量計算について、港湾分野では、コンクリート構造物を対象とした3次元数量計算方法を策定する必要がある。

c) 比較検討

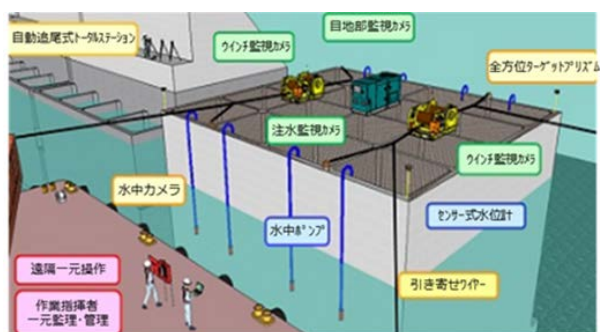
効果は 3 次元数量計算においてのみ、I. 効率の向上があり導入基準 A を満たさない。データ取得の必要性が低い場合導入基準 B も満たさない。

ブロック等製作は今後導入を検討する.

(7) ケーソン据付

a) 効果

情報化施工としてリアルタイム平面位置情報を用いたケーソン据付システムの活用により施工の能率や精度（品質）の向上が期待できる（Ⅰ．効率が向上及びⅡ．安全性が向上に該当）．据付システムは、水位計等の注水制御システムを兼ね備えるものが多く、据付用ワイヤー等が張り巡らされているケーソン上の作業員を削減でき、災害リスクの低減にもつながる（図-4.23）．

図-4.23 ケーソン据付システムイメージ ⁵²⁾

b) 課題

3 次元測量自体が非効率になる可能性が高い。現状の出来形測量は簡易に行え、かつ十分品質が確保されているためである。情報化施工で活用したリアルタイム位置情報を出来形評価に利用できると測量手間が削減できるため、出来形評価への利用方法を検討する必要がある。

データ取得の必要性は低い。据え付けしたケーソンは、中詰投入や蓋コンクリート打設、上部コンクリート打設により変位（沈下）する。動態観測を行うことで変位量を把握でき、観測結果を工事完了時の3次元データに加味することで十分に維持管理の初期値とすることができる。

3 次元測量を実施した場合の解析中の待機発生も課題である。外郭施設のケーソン据付は、安定性を考慮し、据付から中詰投入、蓋コンクリート打設を一連で行う(図-4.24)。

静穏度が低く港灣ランクが高い（供用係数が大きい）

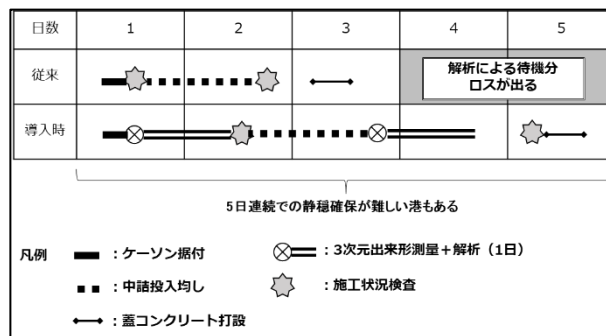


図-4.24 ケーソン据付施工サイクル例

港では、これを 2～3 日程度で行う。現場では、可能な限りロスの無い作業を行う努力をしているために待機の発生は、作業の性質上許されない。蓋コンクリート打設前に波高が上がり、作業が中止となり、中詰が洗われ、手戻りとなる可能性がある。

c) 比較検討

情報化施工の実施で導入基準 A の I. 効率が向上と II. 安全性が向上をとともに満たす。一方で 3 次元出来形測量については、測量自体が非効率になるうえ許容できない待機発生という導入の阻害要因がある。ただし情報化施工のデータを出来形評価に活用できると効果が期待できるため、その検討の必要はある。

データ取得の必要性は低く導入基準 B を満たさない。

よってケーソン据付は、情報化施工の部分に限り導入
を提案する.

(8) 中詰投入

a) 効果

現状の出来形測量は、各マス中央部 1 か所で天端高を測っている（図-4.25）。点測量だったものが面で確認できるようになる。

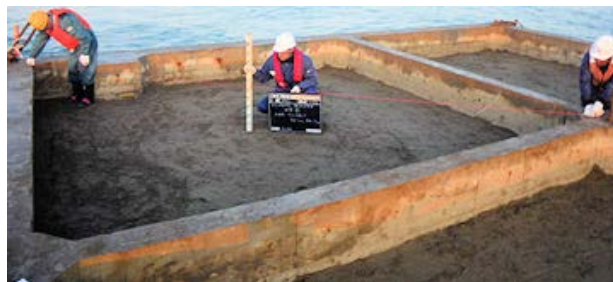


図-4.25 中詰出来形計測状況（筆者撮影，2013年）

b) 課題

3 次元測量自体が非効率になる可能性が高い。各マスの規模が小さく（面積 20m² 以下程度）、均し作業の段階で密に測量しながら仕上げているため、面管理ができるとはいえ精度（品質）向上効果は期待できない。現状行える簡易な測量で十分品質を確保している。

データ取得の必要性は低い。後工程の蓋コンクリートが上に乗る、隠れてしまうためである。

解析中の待機発生も課題である。(7) ケーソン据付で記載のとおり、中詰投入はケーソン据付から蓋コンクリート打設までの一連作業のひとつで、安定性を考慮すると待機発生を許容できない。

c) 比較検討

期待される効果が薄い上、データ取得の必要性も低く導入基準 B も満たさない。

中詰投入は今後導入を検討する。

(9) 蓋コンクリート打設

a) 効果

(8) 中詰投入と同様、現状の出来形測量は各マス中央部 1 か所で天端高を測っている。点測量だったものが面で確認できるようになる。

b) 課題

(8) 中詰投入と同様で 3 次元測量自体が非効率になる可能性が高い。各マスの規模が小さく、均し作業の段階で密に測量しながら仕上げているため、面管理ができるとはいえ精度（品質）向上効果は期待できない。現状行える簡易な測量で十分品質を確保している。

データ取得の必要性は低い。後工程の上部コンクリートが上に乗る、隠れてしまうためである。

c) 比較検討

期待される効果が薄い上、データ取得の必要性も低く導入基準 B を満たさない。

蓋コンクリート打設は今後導入を検討する。

(10) 鋼矢板等打設

a) 効果

情報化施工としてリアルタイム位置情報を用いた打設管理システムの活用により施工の能率や精度（品質）の向上が期待できる（Ⅰ．効率が向上及びⅡ．安全性が向

上に該当）。また(7) ケーソン据付同様に情報化施工で活用したリアルタイム 3 次元データを出来形評価に利用できると測量手間が削減できるため、出来形評価への利用方法を検討する必要がある。

現状の出来形測量は、継手部の観察以外は抜き取りで実施している。測量は全て地上部分で行っているが、導入により（図-4.26）、根入部分以外の海中を含む範囲を面的に全数確認できるようになる。また LS 等により陸上部分を計測すると、不安定な導材上での作業が減り安全性が向上する（Ⅱ．安全性が向上に該当）。これは施工アンケートに寄せられた現場ニーズ（表-4.4）である。



図-4.26 鋼管矢板打設状況⁵³⁾

電気防食の出来形測量は、潜水土により行われている。鋼矢板の中間部分に設置されるため潜水土は海中にて浮遊状態で（又は簡易足場等を設置して）作業を行う。導入によりこの手間の削減となる。また、項目について、共通仕様書では特記仕様書に記載とのことで明確になっていないが、位置や高さ等を明確にできる。

b) 課題

点群密度の検討が必要である。ここでは対象物表示が可能かどうかという観点からで、鋼矢板、鋼管矢板、控鋼杭ともに厚みは数 cm であり、LS 等の計測機器で天端を表示できるかという懸念がある。UAV 写真測量を出来形測量に用いる場合、写真の地上画素寸法を 1cm 以内とすること¹⁹⁾ になっているため、これを確保する方法や斜め方向写真の利用を検討する必要がある。（図-4.27）。

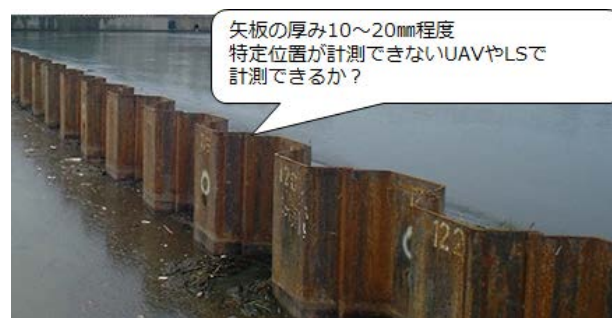


図-4.27 鋼矢板（筆者撮影，2004 年）

3 次元測量を実施した場合の解析中の待機発生も課題である。後工程として腹起タイ材取付がある。鋼矢板式は、係留施設等港内の静穏度が高い場所で採用されるのが殆どであるため、外郭施設よりは待機発生に対して余裕がある。工程に余裕のある範囲で導入するとよい。

c) 比較検討

情報化施工の実施で導入基準 A のⅠ．効率が向上とⅡ．安全性が向上をともに満たす。課題に現状導入を阻害するものはない。

鋼矢板等打設への導入を提案する。

(11) 腹起タイ材取付

a) 効果

比較的構造が複雑であるため形状把握に役立つ（図-4.28）。これは、複雑形状の多い岸壁の把握に有効という施工アンケートに寄せられた現場ニーズ（表-4.4）である。

3 次元出来形測量の実施で部材が多く手間が掛かっている測量が簡易になり、煩雑な施工箇所へ立ち入らずに行える（Ⅰ．効率が向上及びⅡ．安全性が向上に該当）。



図-4.28 腹起（筆者担当工事で撮影，2014 年）

b) 課題

解析中の待機発生が課題である。後工程として裏込材の投入（投石）や上部コンクリート打設が続くことが多い。ただし鋼矢板等打設同様に港内の静穏度が高い場所での施工が殆どであり、外郭施設よりは待機発生に対して余裕がある。工程に余裕のある範囲で導入するとよい。

点群密度の検討も必要である。細かい部材である腹起材やタイ材等が認識可能な点群密度がどの程度か確認する必要がある。

腹起の海側側面については、対岸等が無い限り LS は使えない、UAV 写真測量の場合は、斜め方向の写真とな

るため、斜め方向写真の利用を検討する必要がある。これは、既存の ICT 活用工事には無かった課題で、施工アンケートに寄せられている意見でもある（表-4.3）。加えて陰になる部分の測量方法の検討も必要である。

c) 比較検討

導入基準 A のⅠ．効率が向上とⅡ．安全性が向上をともに満たす。課題に現状導入を阻害するものはない。

腹起タイ材取付への導入を提案する。

(12) ブロック据付

a) 効果

導入により、今まで把握しきれなかった据付状況が確認できるようになり、手戻り削減等施工性の向上が期待できる。これは施工アンケートに寄せられた現場ニーズ（表-4.2）である（Ⅰ．効率が向上及びⅡ．安全性が向上に該当）。

特に消波ブロックは、据付部分の容積と空隙率より据付数量を算定しているが、ブロック据付の過不足が確認できていなかった。導入により確認できるようになる（図-4.29）。

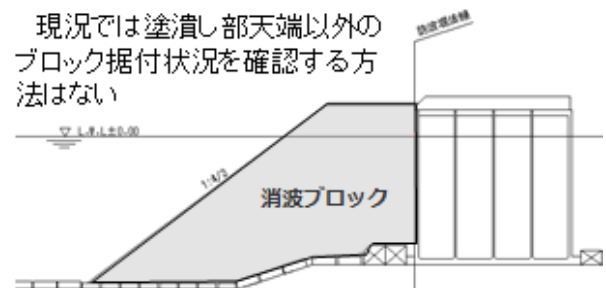


図-4.29 消波ブロック据付工例

消波ブロックの据付箇所は、陸上は平場が少なく海中転落の危険があり（図-4.30）、海中はブロックの隙間へ吸い込まれる等の危険が多い。これは立入りが危険な場所への適用に効果があるという施工アンケートに寄せられた現場ニーズ（表-4.3）である（Ⅱ．安全性が向上に該当）。

均し同様に、出来形測量計測時の潜水作業軽減につながる（Ⅱ．安全性が向上に該当）。

情報化施工として GNSS によるリアルタイムの平面位置情報を用いたブロック据付システム等の活用により施工能率の向上が期待できる（Ⅰ．効率が向上に該当，図-4.31）。



図-4.30 消波ブロック陸上部（筆者撮影，2013 年）

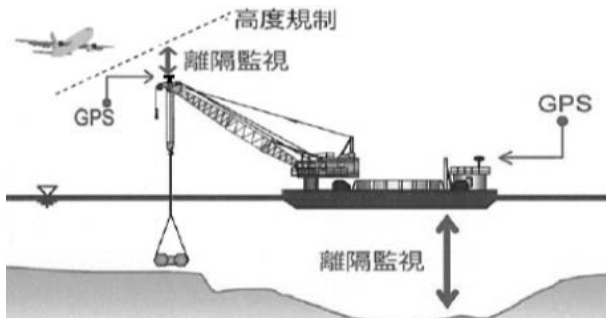


図-4.31 ブロック据付システムイメージ⁵²⁾

b) 課題

出来形管理基準の検討が必要である。現状のブロック据付の出来形管理基準の項目は、天端部分の延長のみである（図-4.32）。異形ブロックにおいて、取得した3次元データのどこが端部か等の評価方法を決める必要がある。

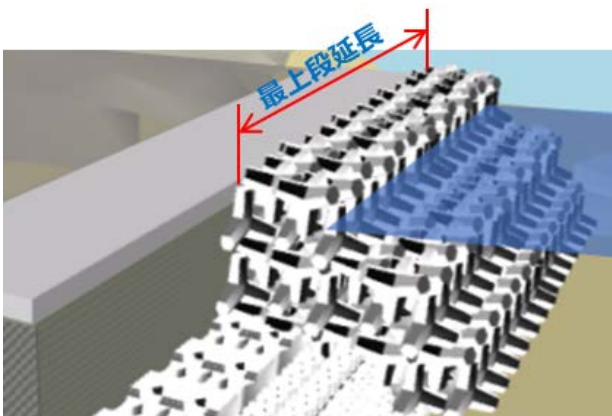


図-4.32 消波ブロック出来形管理基準⁵⁴⁾

また天端以外は出来形評価方法が無いため、必要に応じて新たな基準を検討することも必要と思われる。

点群密度の検討も必要である。図-4.33 のようにブロックと認識できているものが、どの程度の密度でブロックか地盤か見分けがつかなくなるかの確認が必要である。天端以外に出来形管理基準がないため、優先度の高い問

題ではないが、新たな基準とともに必要に応じて検討すべきである。図-4.33 の消波ブロックの部分の点群密度は 140 点/m² 程度である。

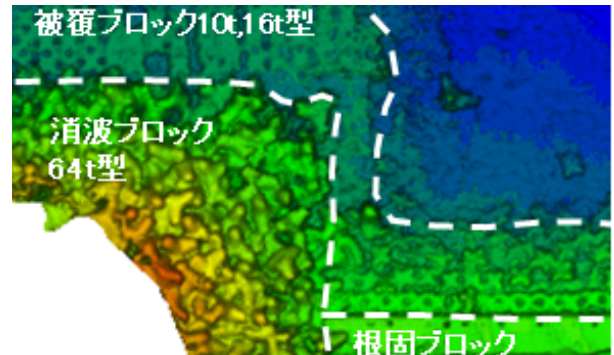


図-4.33 NMB によるブロックの可視化⁵⁵⁾

消波ブロックは、真込均し同様に水陸両方に跨ることが多いため、水面付近データの妥当性評価が必要である。

消波ブロック陸上部分について UAV 写真測量を用いる場合は、防波堤上に設置した評定点の外側が測量対象となる。これは ICT 土工では想定されておらず、測量結果の検証が必要となる。

c) 比較検討

課題については何れも試行時の検証による基準，マニュアルの整備で克服できる可能性が高く，現状導入を阻害するものはない。効果において，導入基準 A のⅠ．効率が向上とⅡ．安全性が向上とともに満たしており，ブロック据付への導入を提案する。

(13) 上部コンクリート打設

a) 効果

UAV や LS の導入により，現状打設スパンの 4 隅（高さ）や端部（幅，延長）において測量していたものを面的に把握できるようになる（図-4.34）。



図-4.34 上部コンクリート（筆者撮影，2016 年）

上部コンクリートの厚みを測る際に、斜面堤では足場が必要になる。防波堤等では、波浪を考慮し、脱型直後に足場を撤去する場合もあり、再度足場を設置するか、親綱と安全帯を用いて測量することとなる。UAV の導入により容易に測量が行える。II. 安全性が向上の効果といえるが斜面堤などの限定的なものである。

付属工の出来形測量は、基本的に全数が対象となっている。導入により、測量の効率化が期待できるが、防波堤には付属工が無く、これも限定的なものと見える。

上部工は各施設において、完成形状であることが多いため、3 次元出来形データを維持管理の初期値として用いることができる。

b) 課題

3 次元測量自体が非効率になる可能性が高い。打設スパンの規模が小さく（100m²以下程度）面管理ができるとはいえ精度（品質）向上効果は期待できない。現状行える簡易な測量で十分品質を確保している。

TS や GNSS ローバーを使った場合、多点計測では非効率となるし、現状と同様の密度で行った場合、効果が見込めない。

許容範囲に応じた精度の妥当性の検討が必要である。現況の上部コンクリートの許容範囲は表-4.11 のとおりである。一方計測機器の精度は、LS が ±20mm, UAV 写真測量が ±50 mm 等となっている。

表-4.11 上部コンクリート出来形管理基準（抜粋）⁴⁹⁾

施設	項目	許容範囲	
防波堤	天端高又は厚さ	幅 10m 以下	±2cm
		幅 10m 超え	-5cm～+2cm
	法線に対する出入り	±5cm	
岸壁	天端高又は厚さ	±2cm	
	法線に対する出入り	±3cm	

点群密度の検討も必要である。TS や GNSS ローバーを使った場合の多点計測が非効率になるのは前述のとおりである。現状の測量頻度が粗であるため、過度な負担としないデータ量とすることが必要である。一方で密度が粗になりすぎると斜面部や付属物の形状把握ができなくなる恐れがあるため適正な密度の設定が必要である。

腹起の海側側面同様に上部コンクリートの側面も UAV 写真測量による斜め方向写真等を利用することとなり（図-4.34）、出来形測量への適用検討が必要である。これは施工アンケートに寄せられている意見（表-4.3）

である。

(6) ブロック等製作において記載のとおり、コンクリート構造物を対象とした 3 次元数量計算方法を策定する必要がある。

c) 比較検討

当該作業自体への効果は薄く導入基準 A を満たさない。しかし取得した 3 次元出来形データを維持管理の初期値として活用ができ、導入基準 B を満たす。

過度の効率低下を招かない方法で上部コンクリート打設への導入を提案する。

(14) コンクリート舗装

a) 効果

導入済の ICT 舗装工の対象は、アスファルト舗装であるが、舗装という作業の性質上、参考にできる部分が多いと思われる。

現状 20m 又は 40m 毎の管理断面において出来形測量を行っている（図-4.35）。導入により面的に把握できるようになる。



図-4.35 舗装コンクリート（筆者撮影，2014 年）

一般的に岸壁や護岸の上部工背面の天端に施されることが多いため、上部工と同じように完成形状であることが多く、3 次元出来形データを維持管理の初期値として用いることができる。

b) 課題

3 次元測量自体が非効率になる可能性が高い。現状港湾では、臨港道路を除き、コンクリート舗装の規模が小さいため測量時間にそれほど手間を要しておらず、面管理ができるとはいえ精度（品質）向上効果は期待できない。現状行える簡易な測量で十分品質を確保している。

許容範囲に応じた精度の妥当性の検討が必要である。コンクリート舗装の許容範囲は、表-4.12 のとおりである。一方計測機器の精度は、LS が ±20mm, UAV 写真測量が ±50 mm 等となっている。

表-4.12 舗装コンクリート出来形管理基準（抜粋）⁴⁹⁾

項目	許容範囲
厚さ	+なし, -1cm
幅	+なし, -2.5cm

c) 比較検討

当該作業自体への効果は薄く導入基準 A を満たさない。しかし取得した 3 次元出来形データを維持管理の初期値として活用ができ、導入基準 B を満たす。

過度の効率低下を招かない方法でコンクリート舗装への導入を提案する。

(15) ブロック撤去

a) 効果

3 次元起工測量により撤去箇所の詳細位置の把握が可能となり、詳細な施工計画の立案が可能となる（I. 効率が向上に該当）。

情報化施工として GNSS によるリアルタイムの平面位置情報を用いた誘導システム等の活用により施工の能率の向上が期待できる（I. 効率が向上に該当）。しかし、ブロックの玉掛けを潜水士が行うことから、潜水士の削減効果は期待できない。

b) 課題

3 次元測量自体が非効率になる可能性が高い。現状では陸揚げした撤去ブロックの寸法や個数の確認を行い、海中の測量は実施しないのが一般的である。

データ取得の必要性も低い。ブロック形状を予め控除した断面を用いて、後工程（ブロック撤去後の基礎捨石投入等）の数量を算出している。この方法で特に支障をきたしていない。

c) 比較検討

期待される効果は I. 効率が向上のみで導入基準 A を満たさない。データ取得の必要性が低く導入基準 B も満たさない。

ブロック撤去は今後導入を検討する。

4.5 導入時に考慮すべき事項

本節では前節で導入基準に合った作業区分に導入した場合に考慮すべき事項を述べる。

実際に 3 次元測量を行った際の生産性の試算と基準やマニュアル策定のために確認しておくべき事項についてである。

(1) 導入時の生産性検証

以下において起工測量（結果を用いた数量計算まで含む）と出来形測量に 3 次元測量を導入した場合の生産性を防波堤築造工事（延伸）について試算する。岸壁や棧橋工事についても防波堤同様に港湾工事工種体系ツリーレベル 4 の組み合わせで行うため、試算結果は同様になるものとする。

a) 起工測量に 3 次元測量を導入した場合の生産性

防波堤築造工事（延伸）の起工測量に NMB を導入した場合の生産性について試算する。表-4.13 に試算条件、表-4.14 に従来方法の試算結果、表-4.15 に導入時の試算結果を示す。

表-4.13 起工測量試算条件

工事延長		100m
測量範囲	法線方向	150m
	法線直角方向	120m
施工水深		15～20m
日当り工数	測量工	4 人
	測量船船長	1 人
	解析	1 人
港湾ランク		4
供用係数		2.25
積算単価地区		横浜
積算単価月		2017 年 12 月

表-4.14 起工測量（従来方法）試算結果

測量方法		SB
測量延長		1.92km
測量日数		0.5 日
	艀装,バーチェック	1 時間
	計測	2 時間程度
解析日数		0.5 日
延べ所要日数		1 日
工数		3 人
	測量	2.5 人
	(測量工+船長)	5 人×0.5 日
	解析	0.5 人 1 人×0.5 日
直接測量費		235 千円

横浜港の港湾ランクは 1 であるが、試算の便宜上ランク（1～9）の中央付近の 4 を採用している。

表-4.15 起工測量（導入時）試算結果

測量方法	NMB	
測量面積	0.018km ²	
測量日数		1 日
	艀装	0.5 日
	パッチテスト	2 時間
	計測	30 分程度
解析日数	3 日	
延べ所要日数	4 日	
工数		8 人
	測量 (測量工＋船長)	5 人 5 人×1 日
	解析	3 人 1 人×3 日
直接測量費	666 千円	

計測時間は、港湾請負工事積算基準第 3 部第 2 編 1 節測量業務⁵⁶⁾記載の測深作業能力算定式より算定している。SB の解析日数は筆者の現場経験から、NMB の解析日数は施工アンケートの回答（2 日～1 週間）に測量面積を考慮して 3 日と設定している。

測量費は、港湾請負工事積算基準第 3 部第 2 編 1 節測量業務⁵⁶⁾及び ICT 活用工事積算要領（浚渫工編）（案）⁵⁷⁾より算出している。表-4.16 に内訳を示す。

表-4.16 直接測量費内訳（起工測量）

内訳	数量	SB 金額[千円]	NMB 金額[千円]
艀装テスト	1 回	207.3	654.2
音響測深	1 式	27.4	11.4
合計		235	666

内訳を見ると NMB の艀装テスト費の割合が特に大きいことが分かる。また SB の測量費は比較のために算定しているが、従来工事での起工測量費は、共通仮設費の率分に含まれるものとして積算計上されていない。

結果の比較をすると、日数、費用、工数ともに従来方法より増加している。防波堤築造工事や岸壁築造工事の範囲は一般的に浚渫工事の範囲より狭く、広範囲の測量で発揮される NMB の効果が出にくい。

続けて解析後の数量計算について試算する。計算方法及び試算結果について、表-4.17 に従来方法の場合、表-4.18 に導入時の場合を示す。

導入時の 3 次元設計データについて、工事契約時に配

表-4.17 数量計算（従来方法）試算結果

計算方法	平均断面法
配布資料	断面図の 2 次元 CAD ファイル
測量成果物	測線毎の深浅値
計算過程	①断面毎の測量成果の深浅値を配布設計断面図に手入力する。
	②断面毎に設計ラインと起工測量の差異より断面積を算出する（2 次元 CAD により自動算出）。
	③算出した断面積を表計算ソフトに手入力し、平均断面法を用いて全体体積を算出する。
所要日数	2 日
工数	2 人 1 人×2 日

表-4.18 数量計算（導入時）試算結果

計算方法	3 次元 CAD 等使用による体積計算
配布資料	3 次元設計データ（LandXML 等）
測量成果物	3 次元点群データ
計算過程	①3 次元 CAD 等の処理ソフトに 3 次元設計データ及び測量成果の 3 次元点群データを取り込む
	②TIN 法を用いて、設計ラインと起工測量の差異より全体体積を算出する。
所要日数	0.5 日以下
工数	0.5 人 1 人×0.5 日以下

布されることが少ないのが現状であるが、起工測量開始までに作成等により準備ができていることを前提としている。

導入効果として、従来方法では手入力が多い一方で導入時には、設計と計測の各 3 次元データをソフトに取り込むので、入力ミスによる手戻りが無い。

また、個別の図面修正の手間が削減される。工事の流れとして、数量計算結果に加えて、発注図に対応する平面図や断面図に結果を加味し修正したものを変更協議資料として提出している。従来では、各図面がリンクしていないため、修正する際、個別に全て直す必要があり、入力ミスによる手戻りなど時間や労力を要している。導入時は、3 次元データを入力した 3 次元モデルから平面図や断面図を取り出せるため、修正時は 3 次元モデルを直すことで事足りる（図-4.36）。

表-4.19 に数量計算まで含めた起工測量の従来方法と導入時の生産性の比較を示す。

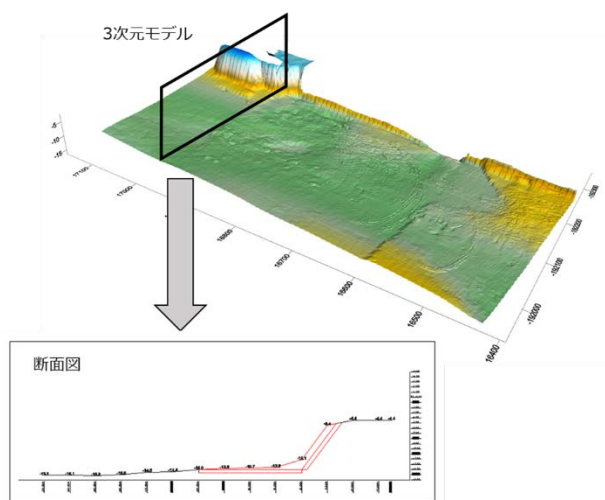


図-4.36 3次元モデルから断面図の取り出しイメージ

表-4.19 起工測量の生産性比較

測量方法	従来方法	導入時
所要日数 [日]	3	4.5
直接測量費 [千円]	235	666
工数 [人]	5	8.5

数量計算を合わせても導入時の所要日数、工数ともに増加しており、測量自体の生産性としては低下する結果となる。NMBの課題である解析に時間を要することが大きく影響している。

この結果は導入基準Aに適合しない。しかし原地盤の3次元データを取得することは、後工程のあらゆる生産性向上の可能性（3次元データを用いた数量計算、情報化施工へのデータ入力、出来形測量時の書類作成の簡素化等）につながるという導入基準Bへ適合するという考えのもと、起工測量については、測量自体の生産性のみで結論を出さずに導入の初歩として行うものとする。ただし、起工測量自体及び建設生産プロセス全体の両方で可能な限り生産性低下を招かない方策を別途検討する必要がある。

まず導入時は所要日数が増えるため、着工の遅れや工程遅延につながる可能性がある。これについては、港長からの工事許可次第ではあるが、着手前の施工計画期間内で吸収できるものとする。起工測量実施の時期を早めることや後半工程の施工計画を着手後に行い、変更施工計画書を提出するといった対応が考えられる。

建設生産プロセス全体で生産性を向上させる方策については、起工測量時に周囲の構造物や海域の測量を合わ

せて行うことである。i-Constructionでは3次元データの効率的な利活用が課題となっており、維持管理分野におけるデータ利用においては、既設構造物の3次元データ化が必要であり、既存の電子納品された2次元データを3次元にする方法の必要性が検討されている⁵⁸⁾。ただし構造物では変位があるため、完成時の納品データがそのまま使えるとは限らない。また古い構造物については、電子データがないことも考えられる。そのため現地を計測したほうが早く確実に3次元化が実現できる場合が多いものと思われる。

起工測量時に既設構造物を追加計測した場合（図-4.37）の測量費を試算する。既設箇所範囲は、前述の試算の範囲の倍（0.036km²；2工事分）とし、測量は3倍の0.054km²行うものとする。試算結果を表-4.20に示す。

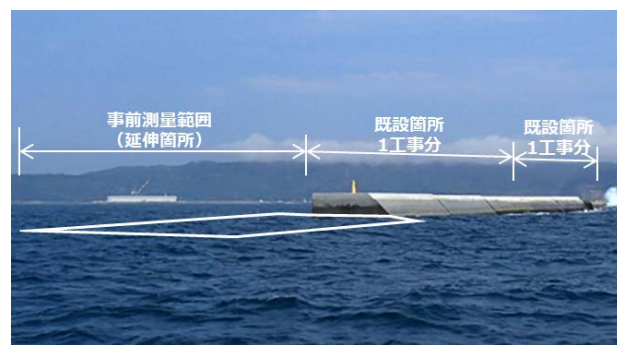


図-4.37 既設構造物追加測量イメージ
(筆者担当工事で撮影、2015年)

表-4.20 既設箇所を追加した場合の直接測量費試算結果

		起工測量のみ	既設箇所追加
測量面積 [km ²]		0.018	0.054
直接 測量費 [千円]	艀装テスト	654.2	654.2
	マルチビーム測深	11.4	34.1
	合計	666	688

3倍の範囲を計測しても、2万円程度しか変わらない。一般的な防波堤工事の測量範囲がNMBの測量費に及ばず影響が小さいことが分かる。測量に要する時間は30分程度の起工測量に対して、追加した場合でも1時間程度である。

追加の測量を別の日に行うと、艀装テスト費が別途生じるため費用は倍程度となる。よって起工測量の範囲を広げて既設構造物の測量を実施する効果は十分にあるといえる。ただしこの場合、工事着手のための数量計算の優先性が高いため、既設構造物箇所の解析は着手後に実施する等の措置が必要である。

b) 工事出来形測量に導入した場合の生産性

続いて防波堤築造工事（延伸）の出来形測量に表-4.6～4.8 の ICT 計測機器を導入した 3 次元出来形測量を実施した場合の生産性を試算する。ここでは 4.4 の効果と課題の比較検討で適合基準に適った工程（作業区分）に導入した場合を考えている。表-4.21 に試算条件を示す。

表-4.21 出来形測量試算条件

工事延長	100m
測量範囲（各工程）	0.005km ²
施工水深	15～20m
施工順序	図-4.38
施工断面	図-4.39
導入工程 （）内は測量箇所、消波ブロックのみ導入時は陸海両方	5 工程（図-4.38 の二重枠） 上部コンクリート打設（陸上） 根固ブロック据付（海上） 被覆石（海上） 被覆ブロック据付（海上） 消波ブロック据付（陸上）
港湾ランク	4
供用係数	2.25
積算単価地区	横浜
積算単価月	2017 年 12 月

測量範囲については対象工程毎に異なるが便宜上 0.005km² とする。

導入工程の 5 作業は、4.4 において導入基準に適合し

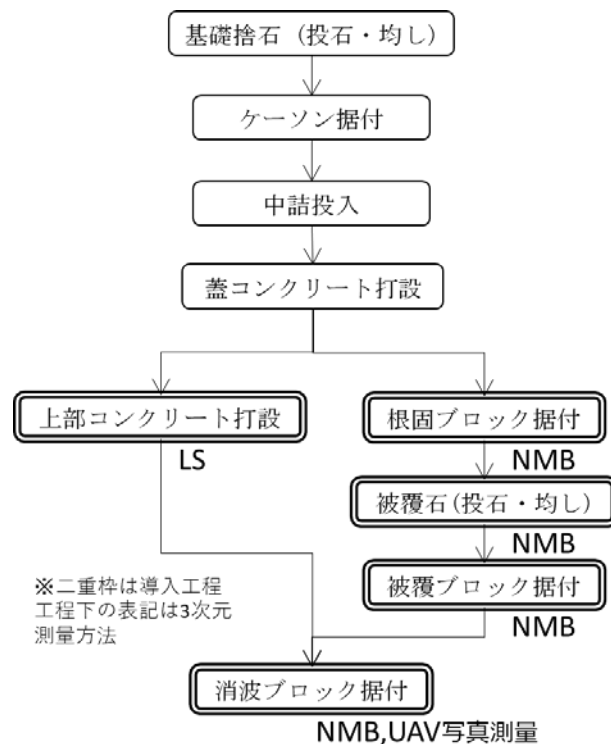


図-4.38 施工順序（防波堤工事）

た作業区分に含まれているものである。ただし基礎捨石の投石・均しは工程上の余裕が無いものとし対象外としている。消波ブロック据付は、従来は陸上のみであるが、導入時は陸上海上各 1 回実施とする。

表-4.22 に従来方法の試算結果、表-4.23 に導入時の試算結果を示す。

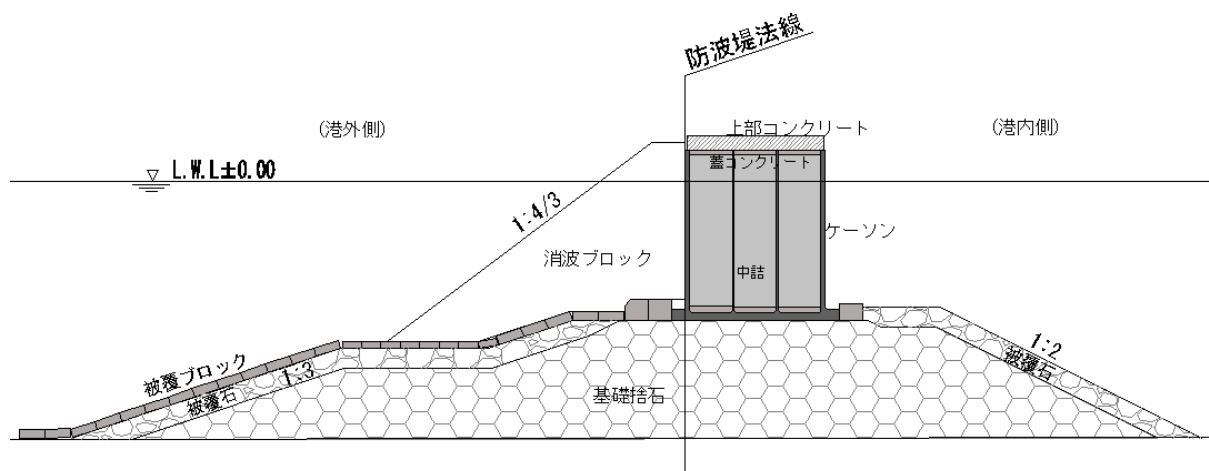


図-4.39 検討防波堤断面

表-4.22 出来形測量（従来方法）試算結果

測量方法	海上	水中水準測量装置
	陸上	レベル スチールテープ
所要日数 1回当たり		1日
	測量	0.5日
	資料整理	0.5日
延べ日数		5日 1日×5回
日当たり工数	測量工（陸上）	2人
	測量工（海上）	1人
	潜水士船乗員	6人
	資料整理	1人
潜水士船 1回当たり		2隻
延べ工数		15人
	陸上	3人
	海上	12人
直接測量費		708千円

表-4.23 出来形測量（導入時）試算結果

測量方法	陸上（上部コンクリート）	LS
	陸上（消波ブロック据付）	UAV写真測量
	海上	NMB
所要日数	陸上	2日
	測量	1日
	解析資料整理	1日
所要日数	海上	4日
	測量	1日
	解析資料整理	3日
延べ日数		20日 陸上2日×2回 海上4日×4回
待機日数（海上の中間工程で計上）		9日
日当たり 工数	測量工（陸上）	2人
	測量工（海上）	4人
	測量船舶長	1人
	解析資料整理	1人
延べ工数		36人
	陸上	4人
	海上	32人
直接測量費		3,247千円

従来方法の延べ工数の内訳は、陸上3人（測量0.5日/回×2人/日×2回+資料整理0.5日/回×1人/日×2回）、海上12人（測量0.5日/回×7人/日×3回+資料整理0.5

日/回×1人/日×3回）である。

導入時の延べ工数の内訳は、陸上4人（測量1日/回×1人/日×2回+解析資料整理1日/回×1人/日×2回）、海上32人（測量1日/回×5人/日×4回+解析資料整理3日/回×1人/日×4回）である。

従来方法の所要日数は、筆者の現場経験から算定している。また導入時の解析日数について、NMBは起工測量と同様に3日としている。UAV写真測量及びLSについては、ICT土工の実績に対象範囲を勘案して1日としている。

待機日数については、図-4.38の施工順序において、蓋コンクリート後の根固ブロック据付以降をクリティカルパスとして、上部コンクリートは余裕工程内、消波ブロック据付は最終工程として、2つの作業を除いた3工程分計上している。

従来方法の測量費は積算上、共通仮設費の率分に含まれるため通常未計上であるが、比較のため便宜上算定している。測量工は受注者の職員が該当するが、費用算定のため測量主任技師と測量助手の技術者単価を用いる。NMBの測量費は起工測量と同様の方法で算定している。UAV写真測量やLSの測量費についてもICT土工等において未計上とされているが、比較のために機械経費等の算定式⁵⁹⁾及び測量主任技師の技術者単価を用いて算定している。

従来方法と導入時の生産性の比較を表-4.24に示す。

表-4.24 出来形測量の生産性比較

項目	従来方法	導入時
所要日数〔日〕	5	20
待機日数〔日〕	0	9
直接測量費〔千円〕	708	3,039
工数〔人〕	15	36

比較結果から、導入時に日数、測量費、工数ともに導入時が増加している。全面的に導入すると過度に生産性を損ねる場合があることがわかる。NMB等の3次元測量のコストダウンが進むまで導入対象を絞り、費用増加を抑制した形で導入すべきである。導入対象は受発注者で協議の上決めるとよい。

次に3次元出来形測量費の内訳を表-4.25に示す。

内訳を見ると、NMBの艀装テスト費の割合が大きい。測量回数増に伴い、測量費の増大に繋がっている。深淺測量では、実施の都度艀装する必要があるため、出来形測量の回数分だけ艀装テスト費を計上する必要がある。

また導入時は待機日数の発生が目立つ。待機日数の発

表-4. 25 3 次元出来形測量直接測量費内訳

項目	数量	単価	金額[千円]
UAV 写真測量	1 回		
測量主任技師	1 人	41,400	41.4
機械経費	0.005km ²		88.6
小計			130.0
LS 測量	1 回		
測量主任技師	1 人	41,400	41.4
機械経費	0.005km ²		237.9
小計			279.3
NMB 測量	4 回		
艀装テスト	4 回	654,234	2,616.9
音響測深	0.020km ²	632,267	12.6
小計			2,629.5
合計			3,039

生は工程管理上のリスクとなるため、4.4 の効果と課題の比較検討において示したとおり、工程上余裕のある範囲での導入を事前の受発注者間協議で決めるとよい。

4.4 の検討結果より、ここで試算した工程の中では最終工程の消波ブロック据付が比較的效果が発揮されるものと考えられる。また施工規模が比較的小さい根固ブロック据付は費用対効果が小さく、優先度を下げても問題ないものと思われる。

当面の対策としては、消波ブロック据付の出来形計測時に上部コンクリート打設や表面にでる被覆均しの計測も同時に行う方法がひとつである。消波ブロック以外の部分は出来形評価に用いずに維持管理段階へ受け渡すデータとする。測量が 1 回で済むため費用増加を抑制できる。

本検討では定性的な評価のもと導入の検討を行っており、定量的な評価は本項部分の測量段階のみとしている。i-Construction 及び ICT 活用の目的を確認する上では定量的な評価が重要と考える。工事における生産性向上は、工事における所要日数や費用の割合が最も多い施工部分の生産性向上如何であるといえる。各作業区分において取り上げた情報化施工の各技術のデータ蓄積が進行途中であるため、試行時にさらなるデータ蓄積を行い、情報化施工による生産性向上効果を含めた工事全体の定量的向上効果を試算する必要がある。

(2) 課題の対応策について

4.4 において導入基準に適合した作業区分の課題は、基準やマニュアルの整備で克服できるものとした。ここ

では試行時に基準やマニュアルを整備していく上で考慮すべき事項をまとめている。表-4. 26 に課題一覧を示す。

表-4. 26 試行時に考慮すべき課題一覧

課題	対象作業区分
・出来形管理基準（許容範囲）の検討	捨石・均し ブロック据付
・許容範囲に応じた精度の妥当性検討	投石・均し 上部コンクリート打設 コンクリート舗装
・解析中の待機発生	投石・均し 鋼矢板等打設 腹起タイ材取付
・点群密度の検討	投石・均し 鋼矢板等打設 腹起タイ材取付 ブロック据付 上部コンクリート打設
・水面付近データの妥当性評価	投石・均し ブロック据付
・情報化施工のデータの出来形評価への活用	ケーソン据付 鋼矢板等打設
・側面部の測量方法	腹起タイ材取付 上部コンクリート打設
・3 次元測量自体が非効率になる	上部コンクリート打設 コンクリート舗装
・3 次元数量計算方法	上部コンクリート打設

解析中の待機発生については、前述のとおり、工程上余裕のある範囲で導入することが当面の対応策となる。また根本的な解析時間の短縮は即時にはできないため、時間短縮技術を i-Construction コンソーシアム等でニーズ発信し、短縮を促していく必要がある。

3 次元測量自体が非効率になることについては、導入基準 B に適合した上部コンクリート打設とコンクリート舗装が対象である。過度に非効率とならない方法として、具体的には取得点密度や出来形管理基準の計測頻度等の設定の検討が挙げられる。よって出来形管理基準（許容範囲）の検討と点群密度の検討の中で行うものとする。

また 4.4 (7) ケーソン据付で述べたとおり、情報化施工で用いたデータを出来形管理に活用できると効率向上が期待できる。

それ以外の課題については、ICT 土工や ICT 浚渫工で挙げた基準の代表的な項目である、計測精度と取得点密

度、数量算出方法、出来形管理基準の許容範囲の3つに該当する。4.5 (3) より個別に対応策を提示する。

また作業区分において抽出した課題の他に、港湾工事特有の考慮事項がある。以下の数点を取り上げる。

港湾工事を行う上で不可避であるのが波浪の影響である。特に計測精度への影響が懸念される。他の課題とともに計測精度と取得点密度の項目で対応策を提示する。

施工アンケートのICT浚渫工の課題(表-4.1)として挙げた3次元設計データ作成労力も考慮する必要がある。浚渫工は比較的形状が単純なため、防波堤築造工事等においてはさらに労力が増す可能性が高い。数量計算時に利用するので数量算出方法で対応策を提示する。

工事完成時には、3次元データを納品する。構造物についての納品仕様が決まっていないため、これについても考慮する必要がある。ICT土工やICT浚渫工で挙げた基準の代表的項目のひとつ、データ納品方法の観点で対応策を提示する。

最後は、施工アンケートに多く意見(表-4.2, 4.3, 4.5)が寄せられた測量機器や各種3次元化ソフトの初期投資についてである。各種機器及びソフトが高額であることはi-Construction推進の足かせとなりかねない。普及促進のためにも企業に過度な負担が掛からない程度の公的支援が必要との声もあり、官民話し合いの場として、業界団体との意見交換会や港湾におけるICT導入検討委員会等の活用が期待される。

(3) 計測精度と取得点密度

a) 計測精度

各計測機器の精度は表-4.6~4.8のとおりで、活用拡大にあたっては、これをベースに考えていく必要がある。

NMBの場合、ICT浚渫工が定める計測精度 $\pm 10\text{cm}$ が水路測量を実施する場合に適用される精度(式3.1)と離れており、厳しいのではとの意見が多数出ており、施工アンケートの結果(表-4.1)からも確認される。 $\pm 10\text{cm}$ の是非については、2017年度に行われるICT浚渫工の試行による検証から判断するとよい。

波浪の計測精度への影響について。防波堤等の外郭施設は外洋に面し、波浪の影響が大きく静穏度が低い場所が少なくない。港によっては波高が50cm以下になることが極めて少なく、1m近い波での施工が何日も続くこともある。NMBの精度は波浪に依るところが大きいため、測量時の波高毎に精度を定めるといった対策が必要である。「マルチビームを用いた深淺測量マニュアル(浚渫工編)(案)」には、『測深は、海上ができる限り平穏なとき

に実施するものとし、波浪のある場合をさけるものとする』との記載⁶⁰⁾があり、精度確保のため静穏時に測量を実施するのが基本である。しかし波高により計測精度を緩和することで厳しい環境下での生産性向上につながる可能性もある。

また計測精度について、ICT浚渫工において、点群密度と異なり達成率の明記が無い。達成率の導入は、施工アンケートの意見(表-4.1)にも挙げた現場ニーズである。

波浪の影響で条件が厳しくなる場合を考慮すると、波高毎の計測精度と達成率が必要と思われる。しかし現状では、データの蓄積が少なく、波高毎の計測精度と達成率を数値で提示できない。試行時に、波高毎の計測精度のデータを蓄積して適切な数値を設定するとよい。

出来形管理基準の許容範囲に応じた計測精度については、基本として許容範囲が優先される。4.4 (4) 投石・均しに記載のとおり、許容範囲が $\pm 50\text{cm}$ と比較的厳しくない捨石荒均し等において、計測精度を緩和することは、さらなる生産性向上や制度の裾野を広げることに繋がるものと思われる。これも試行時にデータの蓄積を行い、適切な数値を設定するとよい。

波高と許容範囲について計測精度の設定と達成率の導入を提案したが、現場で2つを分けては考えられない。試行時には、波高と許容範囲の2つの観点でデータ蓄積を行い、計測精度について検証すべきである。

側面部の測量方法として、4.4の腹起タイ材取付や上部コンクリート打設の課題において斜め方向写真の活用を提示した。ICT土工では、直立部分は存在せず垂直方向写真を用いるが、斜め方向写真の精度への影響や垂直面への利用を考慮した検証(図-4.40)が行われており、高さ精度の向上⁶¹⁾や側面部がある場合の高密度な点群の作成に有効であること⁶²⁾が報告されている。

港湾構造物にUAV写真を用いた場合、測量対象となる消波ブロックが評定点の外側になること、防波堤などの対象物の幅が狭いため評定点が直線的に配置されることやサイドラップの無い写真となることによる計測精度の低下、海面が写真に写り込んだ際(図-4.41)の歪みの発生等の港湾独自の課題があり、測量結果の検証が必要である。サイドラップの無い写真については、前述の側面部の測量に用いる斜め方向写真の活用が期待され、海面が写り込んだ際の歪み発生については、海面が写っていない場合に歪みが解消される報告⁶³⁾があり、試行を積み重ねて計測方法や精度確認方法を確立し、マニュアル類を策定すべきである。



図-4.40 空撮写真例（土工）⁶²⁾

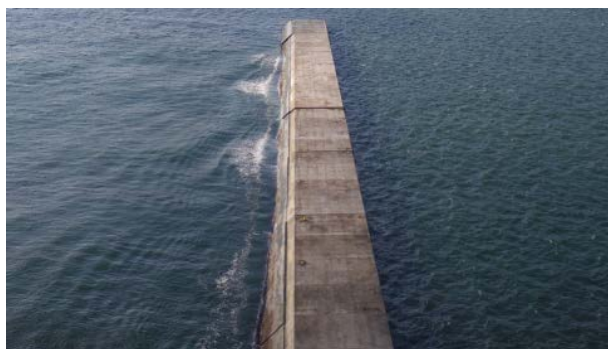


図-4.41 海面が写る防波堤空撮
(筆者担当工事にて撮影，2017 年)

b) 点群密度

点群密度については、品質確保上、密なほど精度向上につながるが、過度に密であると解析効率の低下や後工程での使い勝手を悪くする等の生産性低下を招く恐れがあるため適切な密度設定が必要である。

まず測量効率を考慮した点群密度について上部コンクリートで考える。現状は前述のとおり、各スパン 4 隅で高さ（厚み）を計測している。GNSS ローバーを用いた場合 ICT 土工同様に 1 点/㎡計測する。コンクリート構造物の天端は、土工より平坦性を確保しやすく、1 点/㎡の計測も過剰気味といえる。試行において、適切な取得点密度を確認する必要がある（図-4.42）。

対象物の形状把握ができるかどうかについては、図-4.33 の NMB で可視化された消波ブロックは、防波堤近傍にあるため、測量船を数回近づけ測量をしたため 140 点/㎡程の高密度となっている。これを 12 点/㎡（ICT 浚渫工が定める 0.5m×0.5m メッシュに 3 点）にした場合にブロック形状が認識できるか、認識できない場合は何

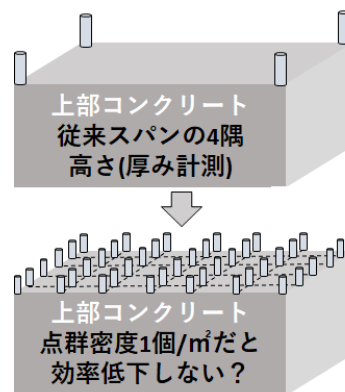


図-4.42 上部コンクリート打設計測密度

点以上/㎡で認識できるかの確認が必要である。図-4.33 で示した消波ブロックと同形状の消波ブロックの形状図を図-4.43 に示す。

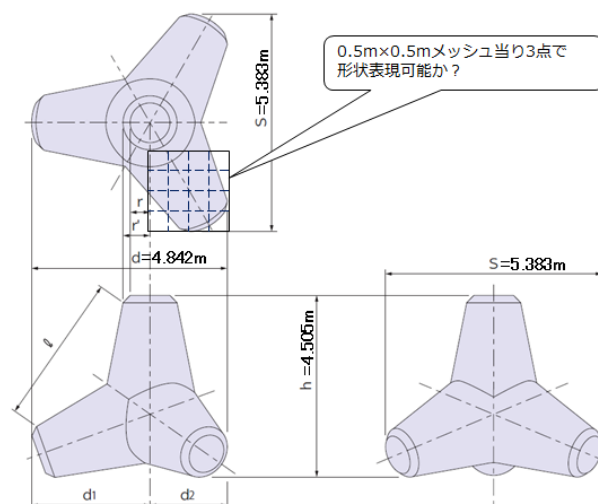


図-4.43 消波ブロック寸法形状図⁶⁴⁾

また鋼矢板や腹起し等の部材把握のための方策（対象を確認できる画素寸法を確保する飛行ルートの設定や斜め方向写真の活用方策）を試行時のデータ蓄積で確認する必要がある。

この形状把握のための密度設定は用途を考慮する必要がある。上記消波ブロックは、出来形管理基準の項目が天端延長のみであるため、下部のブロックについては地盤とブロックの判断がつかない場合でも現状の基準上は問題が無い。3 次元データに応じた出来形管理基準の整備とともに考える必要がある。

水面付近データの妥当性については、水面付近の点群密度が粗になることから、点群密度の問題である。まず陸上部分と水中部分の境界について確認する。港湾工事では平均満潮面（M.H.W.L）を境に気中部（陸上部分）と

水中部に分けて積算，数量計算を行っている．出来形測量についてもこれに準じると，平均満潮面より上方の気中部は UAV や LS，平均満潮面より下方の水中部は NMB 測量により得た 3 次元データを用いる．そのため気中部は干潮時，水中部は満潮時に測量をすることとなるが，作業時期による干満や波浪の影響により必ずしも平均満潮面を境にできない可能性もある（図-4.44）．その場合は予め受発注者間協議により気中部と水中部の境界を決める必要がある．

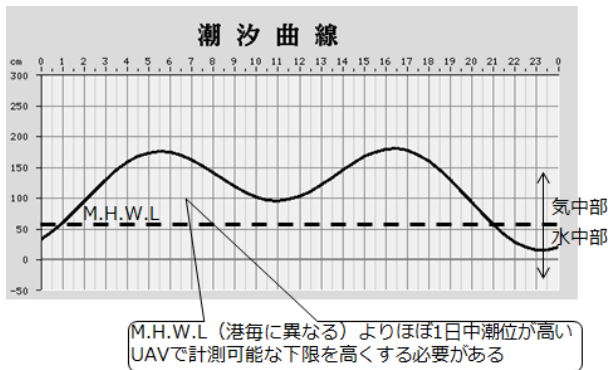


図-4.44 潮汐と気中部水中部の境界
(海上保安庁の潮汐推算⁶⁵⁾に加筆)

境界を決めて測量を実施し，得られる密度が粗い水面付近データが標準部分と同様に要求仕様を満たしているかの確認方法を策定する必要がある．試行時のデータ解析により，標準部と比較し，問題のない密度の指標を決めることができるとよい．

水面付近の NMB については，水面下 1m 程度からのデータ減少を抑える方法として，測深機を傾けて測量する事例が報告³⁸⁾されており，今後さらなる測量方法の発展が望まれる．

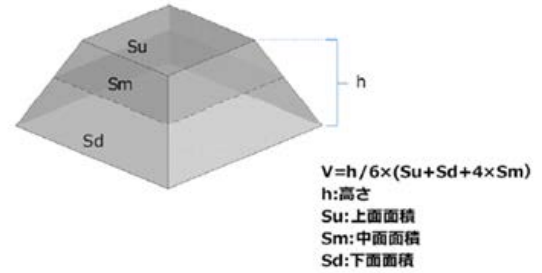
(4) 数量算出方法（設計データの 3 次元化）

捨石の数量計算については，ICT 浚渫工様に TIN 法とプリズモイダル法で対応できる．

未策定のコンクリート構造物の 3 次元数量計算法については，2017 年 CIM 導入ガイドライン（案）の導入に合わせ，3 次元 CAD を用いて算出する方法を「土木工事数量算出要領（案）」に定めており⁶⁶⁾（図-4.45），これに準じた形で港湾分野においても上部コンクリート打設等の導入作業区分について算出要領を策定すべきである．

工事における 3 次元データの導入にあたっては，設計データの 3 次元化が不可欠である．ICT 活用工事の導入と並行し設計業務の 3 次元化も進められているが，工事

□変化点ごとに，水平方向の多角錐体に分割後，多角錐体の各体積を合計し算出する方法



□単純な幾何図形に分割した後に，各体積の和，差等の集合演算により算出する方法

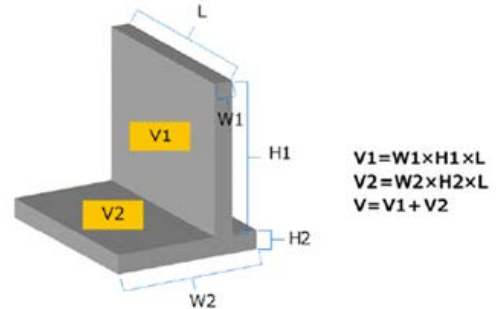


図-4.45 3 次元数量計算方法例⁶⁶⁾

（施工段階）へデータが引き継がれているものはまだまだ少なく，ほとんどが工事の受注者自身が 3 次元化している．導入効果として複雑な形状の把握が容易になる反面，複雑な形状ほど設計データの 3 次元化に時間と労力を要する．工事契約から約 1 か月で着手するのが一般的であるため，1 か月以上の時間を要しない比較的簡単な構造の工事から導入すべきである．

また今後検討していかなければならないのが設計の手法である．現状，設計は 2 次元で行われており，設計の 3 次元化が進められているところであるが，従来の設計作業に加えて，3 次元モデルの作成を行っているというのが現状である．

作成された 3 次元設計データが施工段階以降に引き継がれ，建設生産プロセス全体の最適化に寄与することは明らかであるが，設計段階自身の効率が低下することは，i-Construction の目的から乖離する．そのために自動化するソフトの開発やブロック等部材の部品化が期待される．

(5) 出来形管理基準の許容範囲

ICT 土工の出来形管理基準において，標高較差の規格値は個別値に計測精度を加味し，従来の規格値を平均値として採用する措置を取っている（2.3 (5) 参照，図-2.6）．

一方 ICT 浚渫工では，海上保安庁の水路測量を兼ねて行うことを想定しているため水路測量の基準に合わせて

許容範囲の緩和を行っていない (3.3 (6) 参照)。浚渫工以外の工事は水路測量の対象外となるため、活用拡大時には出来形管理基準の許容範囲に ICT 計測機器の計測精度を加味することの検討も必要である。

ICT 土工と同様に計測精度を加味した許容範囲を仮定してみると、捨石荒均しにおいて、従来の天端高 $\pm 50\text{cm}$ は、(現状の) NMB の計測精度 $\pm 10\text{cm}$ を加味して、平均値 $\pm 50\text{cm}$ 、個別値 $\pm 60\text{cm}$ となる。同じく上部コンクリートは、天端幅 10m 以上の防波堤において、従来の天端高 -2cm から $+5\text{cm}$ が、UAV の計測精度 $\pm 5\text{cm}$ を加味して、平均値 -2cm から $+5\text{cm}$ 、個別値 -7cm から $+10\text{cm}$ となる。

計測精度を加味した許容範囲についても、波高と計測精度の関係と同様にデータ蓄積が無いため、具体的な数値を示すことはできない。計測精度を加味した許容範囲を採用した場合に、均しの後に不陸なくブロックを据え付けられる等の要求仕様が満足されているかを試行により確認した上で適切な許容範囲を設定するとよい。

また ICT 土工では、従来測量していた幅や法長が除外され、基準高のみが設定されている。各点の標高較差を確認することで幅、法長を担保している。港湾においても NMB が UAV や LS 同様に特定点を測量することに向きであることから同様の措置が必要である。

捨石本均しの許容範囲は $\pm 5\text{cm}$ で NMB の ICT 浚渫工が定める計測精度 $\pm 10\text{cm}$ を考慮すると現状そのままでの導入は難しいことは前述した。上記のように計測精度を加味した許容範囲を設定した場合はどうであろうか。

この場合天端高の個別値が $\pm 15\text{cm}$ となる。後工程において重要構造物のケーソン等が据え付けられることを考慮すると平均値で $\pm 5\text{cm}$ を確保しても、個別値で $\pm 15\text{cm}$ というのは、部分的に 10cm まで不陸を許容することとなるので据付自体に支障をきたす恐れがある。他の方策が見いだせない場合は、捨石・均しにおいて捨石本均しに限り、今後導入を検討することとしてよいものと思われる。

ICT 土工では法肩などの変化点の水平方向 $\pm 5\text{cm}$ 以内に存在する計測点を出来形評価点から外してよいこととしている (図-4.46)。これも計測精度を加味したものである。NMB の場合は ICT 浚渫工において、水平精度が GNSS により $\pm 50\text{cm}$ 以内となっているため同様の措置を取ると出来形評価除外範囲が大きくなってしまう。試行において、変化点の取得 3 次元データの状況を確認の上で検討すべきである。

消波ブロック据付や被覆ブロック据付の出来形管理基準の項目は最上段の延長のみというのは前述のとおりである。3 次元データの取得により中間の法面や下部の状

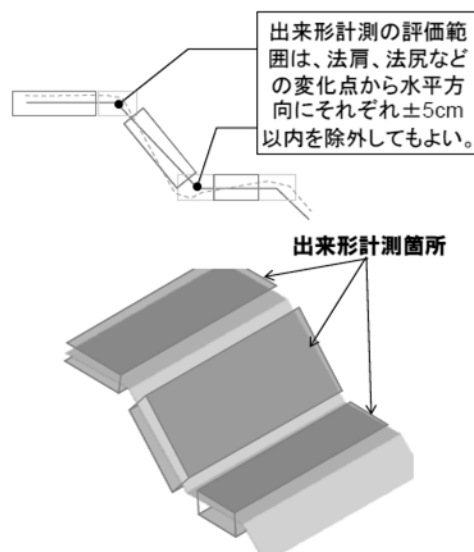


図-4.46 ICT 土工出来形評価除外範囲¹⁹⁾

況が可視化し、評価できるようになるが基準が存在しない。必要に応じて 3 次元データを活用した出来形管理基準の整備も必要である。

被覆及び消波ブロックは、波浪に対しての所要質量を算定する⁶⁷⁾。単積や層積される被覆ブロックは、算定された質量に応じたブロックを配置し、必要個数や延長が決まる。乱積される消波ブロックは、設置箇所の全容積及び各ブロックの体積、空隙率を用いて必要個数を算出する。新たな出来形管理基準として単積や層積される被覆ブロックについては個数、乱積される消波ブロックについては、設計法面に対する出入りが提案できる。

ブロックの個数は、4.5 (3) 記載の形状を認識できる点群密度を設定した上で、単積される個数や層積の最上部の個数や下層部の外周の個数を取得 3 次元点群データから得るもので、設計法面への出入りは、消波ブロックの 3 次元出来形点群データの各点が設計法面よりブロック高さの 1/3 だけ内側にある判定基準線より外側にあるか否かというものである (図-4.47)。

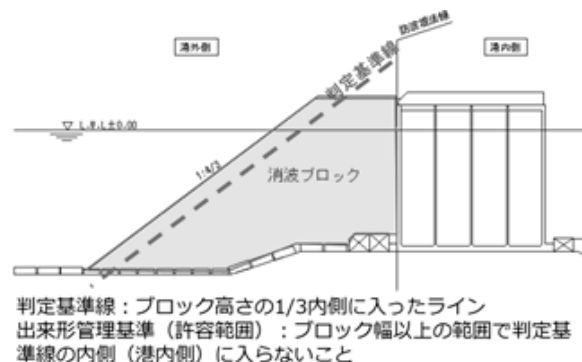


図-4.47 出来形管理基準新設例 (消波ブロック)

ブロック高さの 1/3 は、消波ブロック（ここではテトラポッド）嵩上げの際に、設計法面から法面直角内側方向のブロック高さの 1/3 以内にブロックがある場合は嵩上げしないことから取り上げたものである。各種基準やブロックの形状等に合わせて、試行時に検証の上で制定する必要がある。

(6) データ納品方法

3 次元データの納品方法について、ICT 土工では 2.3 (6)に記載のとおり LandXML ファイルを、ICT 浚渫工では 3.3 (7)に記載のとおり LandXML ファイル及び CSV や XYZ 等のテキストファイルを定めている。

一方 CIM ガイドラインでは、2.5 (6)で記載のとおりモデルに応じたファイル形式としている。浚渫以外の港湾においてはコンクリート構造物等が含まれ、捨石マウンドも構造物と見なせるので、CIM ガイドラインに準じると構造物モデルに該当し IFC ファイルが納品ファイル形式となる。しかし港湾版の IFC (IFC-Harbour & Port) は開発段階であり、現実的に IFC を納品形式にするのは時期尚早である。LandXML ファイルについては構造物を表現する形式ではない。

当面は、各 CAD ソフトに依存するオリジナルファイルでの納品を提案する。IFC- Harbour & Port の進展とともにオリジナルファイルから IFC への変換技術の向上も期待されるからである。

4.6 さらなる生産性向上へ向けて

ICT 等の新たな技術は進展が目覚ましい。施工アンケートのほかに新技術等のヒアリングを行っている。また各種技術発表会や講演会等により新たな技術の性能や効果が発表されている。本検討では既に標準化（基準化）されている機器について検討を行ったが、さらなる生産性向上のために今後有効性を確認することが期待される技術を幾つか本節で紹介する。有効性が確認された時点での積極的な利活用が i-Construction の目指すところへの近道と思われる。

(1) 生産性向上に資する技術

a) 水中ソナー

水中ソナーは、超音波を立体的に照射し、海底地形や水中構造物を計測し表示することができる水中計測機である（図-4.48）。計測結果をリアルタイムに表示できる特徴があり、前述の GNSS による位置情報を用いた投石位置誘導システム（図-4.16）やブロック据付システム（図

-4.31）などの情報化施工に用いる機器との連動が期待される。

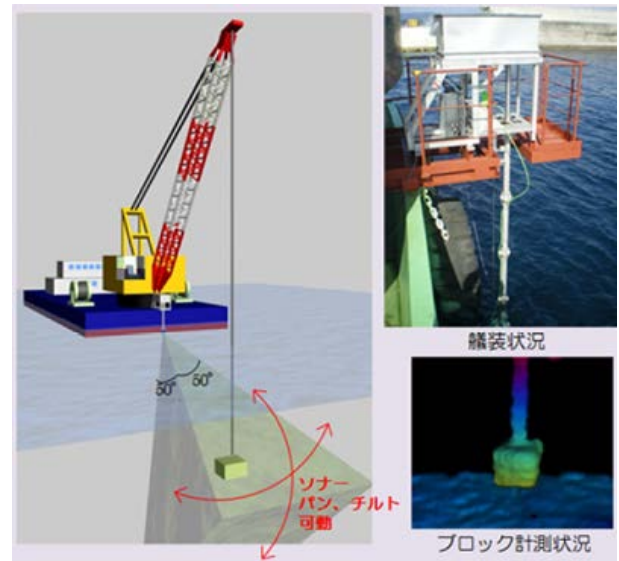


図-4.48 水中ソナーイメージ⁶⁸⁾

従来技術と同等以上の計測精度、ブロック据付に適用した際の潜水土による誘導と同等の施工精度が確認され報告されている⁶⁸⁾。

リアルタイムでの画面表示は可能であるが、データを出来形評価に活用する場合はノイズ処理が必要であり、その点は NMB と同様である。

b) 水中 3D スキャナー

水中 3D スキャナーは、NMB が得意としない水中構造物の側面部や隅角部を高精度に計測できる水中計測機である。一方、NMB より測量範囲は限られる。

陸上の LS 同様にパン・チルト（首振り）機能を用いて音波を照射している（LS はレーザーを照射）。

波の影響のない船渠内に沈設されたブロック等を計測し、誤差 2cm 以下という高精度な結果が実証試験で確認されている⁶⁹⁾（図-4.49）。

静穏度が低い岸壁等の構造物への利用が期待できる。



図-4.49 水中 3D スキャナー計測例⁶⁹⁾

c) 航空レーザー測深

航空レーザー測深（ALB：Airborne Laser Bathymetry）は、航空機より地上に近赤外レーザーを照射し、反射するレーザーとの時間差より得られる地上までの距離と、GNSS、IMU から得られる航空機の位置情報より、地形を調べる測量技術である。近年では水中部を透過するグリーンレーザーを用いて水中部の計測が可能となり、陸上部と水中部を同時に計測できる方法として期待されている。

港湾での実用例は少ないが、海岸線付近における計測において NMB の計測結果と差異が少ないことや水深 20m 弱まで適用可能なことが確認され報告されている⁷⁰⁾。

ただし濁りに弱く、透明度（人が目視確認できる距離）の 1.5 倍までしか測深できないとされる。

河川分野では本格的な測量が実施⁷¹⁾されており、グリーンレーザーを用いた UAV の現地実証も進められている⁷²⁾。

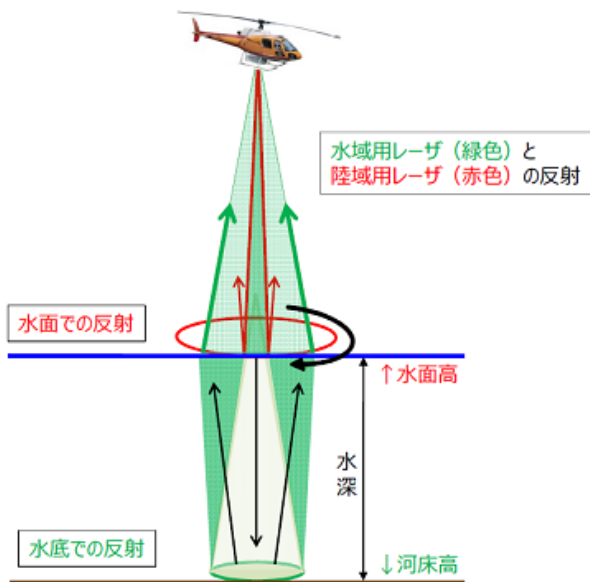


図-4.50 ALB 概要⁷¹⁾

d) モービルマッピングシステム

モービルマッピングシステム（MMS：Mobile Mapping System）は、車両に搭載した LS とデジタルカメラにより 3 次元データと連続映像を取得する計測装置（図-4.51）で、近年公共測量に用いられ、測量の生産性向上に寄与している。道路分野の維持管理の効率化にも用いられている。

施工管理用の機器としても検証が行われており、盛土の現場において UAV 写真測量との比較において十分精度が確保されていることが確認、報告されている⁷³⁾。

延長の長い箇所では盛替えが必要となる LS や人口密集



図-4.51 MMS 概要⁷³⁾

地区で飛行許可等が必要になる UAV 写真測量の代替となり得る技術と考えられ、港湾では UAV の飛行の支障が多い岸壁付近での活用が期待できる。

e) 水中 ICT 建設機械

i-Construction の先駆けである ICT 土工では、UAV とともに MG や MC を備えた建設機械が旗手の役割を果たしている。一方港湾分野では、起重機船等の船上のクレーンを用いることが多く、水中で稼働する建設機械の事例は、均しを行う機械等一部に限られる。操作は水中で潜水士が行うのが一般的で無人の機械の例は数少ない。

港湾分野において、潜水士が水中で作業を行うのは大きな特徴である。均しのような比較的複雑ではない作業を機械で代替できると、現状機械化が難しい作業に潜水士を集中させることができる。潜水士も他の技能労働者と同様に担い手不足が課題であり、その解決策の一つになるのではないと思われる。

船上で操作する MG の均し機や AI（人工知能）を搭載した自動均し機が開発されると潜水災害のリスク低減とともに均しの能率向上も期待できる。

また港湾分野では波浪による影響が大きく稼働日数が限られることは既に記した。波高 1m が作業実施の基準になることが多いが、筆者が従事した防波堤築造工事では、630 日の工期中、波高 1m 以下の日が 234 日（37.1%）であった。1m 前後で推移する日もあったため実際の稼働率はもう少し良かった（48.0%）が、作業船が稼働できない 1.5m 程度の波まで耐えうる水中建機があると稼働率が上がり生産性向上につながる。この工事において波高 1.5m 以下だったのは 443 日（70.3%）で、1.5m で稼働できる水中建機があり単純に全て稼働したとして、20%以上稼働率が上がることになる。限られた稼働日数を増加

させ生産性を向上させる可能性を持つのが水中建設機械である。ここで記述した波高データについては、国土交通省港湾局 全国港湾海洋波浪情報網（リアルタイム ナウファス）⁷⁴⁾ を用いている。

施工アンケートにおいても水中建機への期待は高い。しかし開発費用の課題がある（4.3 参照）。

現在、国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所や民間企業で開発が進められている。



図-4.52 実証試験中の無人水中建機⁷⁵⁾

(2) 港湾版 CIM

業務の効率化を図る取り組みとして、3次元データに属性情報を加えた CIM モデルを活用する CIM について 2.5 で取り上げた。前述のとおり大手建設会社を中心に復興事業や大規模プロジェクトにおいて導入されているが、港湾分野での事例はほとんど無い。ここでは数少ない導入事例を紹介し、今後港湾分野における3次元データの有効活用方策としての CIM の可能性について記す。

数少ない導入事例として報告されているのは、福島県相馬港の LNG 基地の栈橋工事における CIM の導入である⁷⁶⁾。この事例では、工程検討、鋼管杭打設やジャケット据付等の各種施工検討に CIM モデルを用いている（図-4.53）。

ジャケット据付検討では、受けの鋼管杭の出来形をモデルに反映し据付時の干渉の有無を確認している。鋼管杭打設及びジャケット製作それぞれに出来形管理基準があり、施工に当たっては基準の許容範囲内に出来形を収めるが、各許容範囲内に収まっていた場合でも干渉し据え付けられない場合も考えられる。現状では2次元の図面を用いた検討も行われている。実際の歪みやねじれなどを2次元では表現できないため、CIM モデルを使うことでより現実に近い事前検討ができるようになる。鋼管杭の出来形を反映させていくことで、許容範囲内でも干渉の可能性のある範囲が分かり、次の杭の打設目標がより明確になり手戻り防止や精度向上へつながる。

港湾分野では導入事例が少なく、こういった場面での

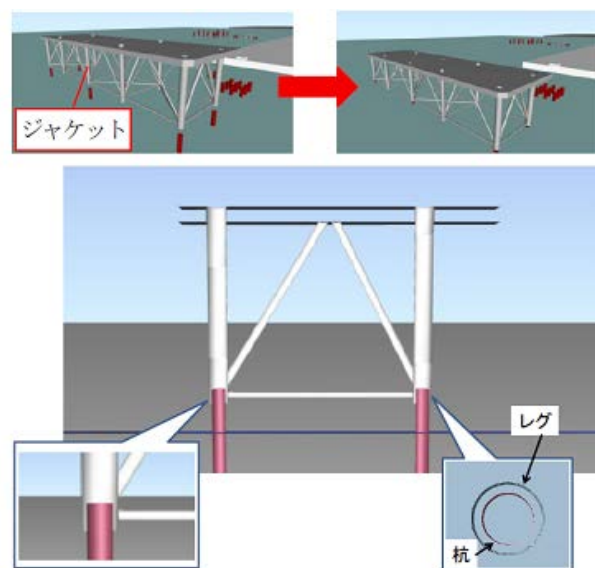


図-4.53 CIM モデルによるジャケット据付干渉確認⁷⁶⁾

活用が有効かといった検証がまだ十分ではない。ICT 活用の試行に、CIM の試行も合わせて行い、知見を積み重ねていくことが長期的な観点で生産性向上のために重要である。

CIM を導入するに当たっては、データを受け渡す維持管理段階とのより密接な連携が必要となる。しかし現状、港湾分野の維持管理段階において i-Construction の普及が進んでいるとはいえない状況である。これは今回の検討にあたり実施した海洋・港湾構造物維持管理士を対象としたアンケート結果にも表れている。

点検調査への ICT 利用状況として、「ほとんど利用していない」が 55%（図-4.54），また維持・対策工事への ICT 利用状況として、「ほとんど利用していない」が 83% を占めるアンケート結果となっている（図-4.55）。

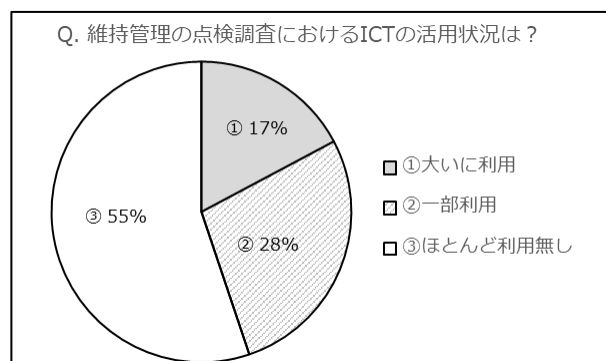


図-4.54 維持管理アンケート結果（1）
（点検調査における ICT 活用状況）

一方で3次元データを維持管理に活用することは有効

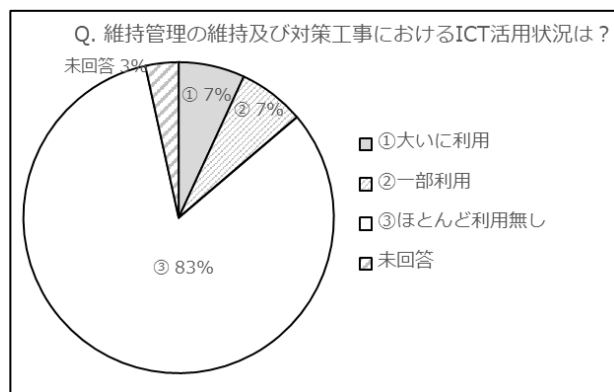


図-4.55 維持管理アンケート結果 (2)
(維持・対策工事における ICT 活用状況)

かどうかという問いには、「有効」と「ほぼ有効」が合わせて 97%を占め、3 次元データ等の ICT 活用への期待が表れている (図-4.56)。

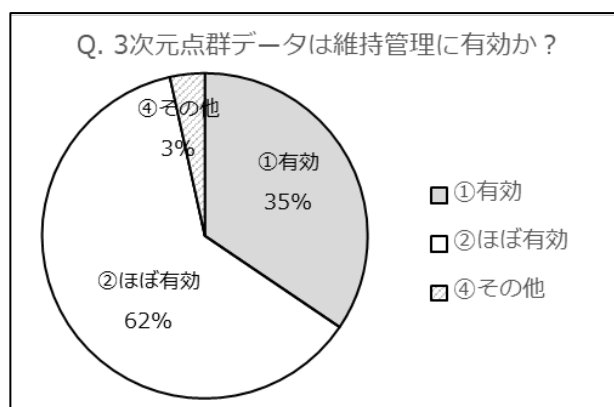


図-4.56 維持管理アンケート結果 (3)
(維持管理における 3 次元データの期待)

現状、インフラの老朽化が急速に進み、インフラメンテナンスを効率的、効果的に行う体制を確保することが喫緊の課題⁷⁾となっている。

インフラメンテナンスを効果的、効率的に行う方法のひとつとして CIM への期待は大きい。2.5 (2)に記載のとおり、CIM に期待される効果として、維持管理の効率化、高度化がガイドラインに記載されている²⁶⁾。

維持管理の効率化、高度化が進むように CIM モデルの活用方法や詳細度、データの受け渡し方法等を CIM の有効活用方策と合わせて検討する必要がある。

本項で記載した海洋・港湾構造物維持管理士を対象としたアンケートについては、アンケート票を巻末の付録 C、回答及び集計を付録 D に示す。

5. 本検討における提案

本検討における提案として、港湾分野において浚渫工に続く 3 次元データ等の活用を導入する作業区分として、表-5.1 に示す作業区分を提案する。4 章の検討において、導入基準に適った作業区分である。提案においては導入の優先性も合わせて示す。また、4.5 で提示した導入時に考慮すべき事項と対応策の案の一覧を表-5.2 と表-5.3 に示す。

優先性は 4 章において挙げた課題が確認程度のもので、直ぐに効果の発揮が期待されるものを「◎」、それ以外を「○」としている。

ただし捨石本均しについては、前述のとおり出来形管理基準の許容範囲と計測精度の問題があり、場合によっては導入を今後検討としているので、「◎」とした捨石・均しの中で個別に「○」としている。

表-5.1 本検討の提案

3 次元データ等の ICT 活用を 導入する作業区分 (導入基準に適った作業区分)	導入の 優先性
・捨石・均し	◎
・捨石・均し (捨石本均しのみ)	○
・ケーソン据付 (情報化施工部分)	◎
・鋼矢板等打設	○
・腹起タイ材取付	○
・ブロック据付	◎
・上部コンクリート打設 (過度に効率が低下しない方法で)	○
・コンクリート舗装 (過度に効率が低下しない方法で)	○

表-5.2 導入時に考慮すべき事項と対応策 (案) (1/2)

解析中の待機発生
[対応策]
・工程に余裕のある範囲での導入 (事前協議)。
・解析時間短縮技術のニーズ発信 (i-Construction コンソーシアム等)。
3 次元測量自体が非効率になる
[対応策]
・情報化施工のリアルタイムデータの出来形管理への活用方策の検討。

表-5.3 導入時に考慮すべき事項と対応策（案）（2/2）

波高の計測精度への影響と許容範囲に応じた計測精度
[対応策]
・データ蓄積，分析による適切な計測精度の設定．
・計測精度の達成率の制定．
側面部の測量方法
[対応策]
・UAV 写真測量で得た斜め方向写真の活用方法の策定（評定点の設置方法，海面の影響検証など）．
点群密度の検討
[対応策]
・測量効率を下げず，対象物の形状把握を可能とする適切な密度の確認，設定．
水面付近データの妥当性
[対応策]
・気中部，水中部境界の設定（事前協議）．
・標準部との取得点密度の比較確認．
コンクリート構造物の3次元数量算出方法
[対応策]
・「土木工事数量算出要領（案）」に準じて策定．
設計データの3次元化
[対応策]
・比較的簡単な構造からの導入（工事の受注者が3次元化する場合）．
・2次元設計からの自動3次元化，部材の部品化．
計測精度を加味した許容範囲
[対応策]
・データ蓄積，分析による適切な許容範囲の設定．
・必要に応じて3次元データに対応した出来形管理基準の整備．
データ納品方法
[対応策]
・IFC-Harbour & Port の進展までオリジナルデータでの納品．
測量機器や3次元化ソフトへの初期投資
[対応策]
・過度な負担とならないような仕組みづくりのための話し合いの場の活用．

本検討においては，12 の作業区分を定め，作業区分毎に導入基準への適合を確認した．検討が煩雑にならないように類似性を持った作業毎に作業区分を選定した．前述の投石・均しの中の捨石本均しのような他に比べて要求仕様（ここでは出来形管理基準の許容範囲）が高い作

業が含まれるなど同じ作業区分においても要求仕様や施工規模等は様々ではない．さらに港湾工事では，港湾毎に自然条件等が異なる．

そのため本格導入にあたり，基準やマニュアル類を策定するにあたっては，異なる条件で得たデータを要求仕様や性能毎により細分化した分析，検討をすることが必要であると思われる．

6. おわりに

資源の少ない我が国において港湾の重要性は非常に高い．その基盤を造る建設業は活力を持って事業を継続することが求められる．i-Construction の取り組みは緒に就いたばかりであるが，生産性を向上させ，働きやすい魅力ある産業にしていけることが継続につながる．そのためには日進月歩の新技术を積極的に取り入れ，生産性向上のために多くの試行と検証が必要である．

（2018 年 2 月 14 日受付）

謝辞

本検討を行うにあたりアンケート及びヒアリングを実施しており，アンケート内容について巻末の付録に記載していることは前述のとおりであるが，ヒアリング結果（概要）もあわせて記載している．

ご協力いただいた国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所 港湾空港生産性向上技術センター，一般社団法人日本潜水協会，一般社団法人日本埋立浚渫協会理事会社，一般社団法人海洋調査協会会員会社，海洋・港湾構造物維持管理士会の各担当の方々に深謝の意を表する．

参考文献

- 1) i-Construction 委員会：i-Construction ～建設現場の生産性革命～，2016 年，<<http://www.ml原因it.go.jp/common/001127288.pdf>>，（入手 2017.4.5）．
- 2) i-Construction 委員会：i-Construction ～建設現場の生産性革命～（報告書概要資料），2016 年，pp.5-6，<<http://www.ml原因it.go.jp/common/001137123.pdf>>，（入手 2017.4.5）．
- 3) 経済産業省：2013 年版ものづくり白書，2013 年，pp.99-100．
- 4) 家入龍太：これだけ！B I M，秀和システム，2015 年，pp.10-42．
- 5) i-Construction 委員会：第 1 回委員会資料 資料 1 建設現場の生産性に関する現状，2015 年，<<http://www.原因it.go.jp>>．

- mlit.go.jp/common/001113550.pdf>, (入手 2017.4.5).
- 6) フリー素材, <<http://gahag.net/004326-drone-quadrotor/>>, (入手 2017.10.20).
- 7) 国土交通省国土地理院: UAV を用いた公共測量マニュアル(案)平成 28 年 3 月(平成 29 年 3 月改正), 2017 年, <<http://www.gsi.go.jp/common/000186712.pdf>>, (入手 2017.4.5).
- 8) 国土交通省国土地理院: UAV を用いた公共測量マニュアル(案)新旧対照表, 2017 年, <http://psgsv2.gsi.go.jp/koukyou/public/uav/doc/UAV_newold.pdf>, (入手 2017.4.5).
- 9) 国土交通省国土地理院: 公共測量における UAV の使用に関する安全基準(案)平成 28 年 3 月, 2016 年, <http://psgsv2.gsi.go.jp/koukyou/public/uav/doc/anzen_kijun_160330.pdf>, (入手 2018.2.7).
- 10) 国土交通省航空局: 無人航空機(ドローン、ラジコン機等)の安全な飛行のためのガイドライン, 2015 年, <<http://www.mlit.go.jp/common/001202589.pdf>>, (入手 2017.6.2).
- 11) 国土交通省: 空中写真測量(無人航空機)を用いた出来形管理要領(土工編)(案)平成 28 年 3 月, 2016 年, <<http://www.mlit.go.jp/common/001124402.pdf>>, (入手 2017.4.5), 29 年 3 月版に改訂されたため受付時はリンク切れ.
- 12) 国土交通省: レーザースキャナーを用いた出来形管理要領(土工編)(案)平成 28 年 3 月, 2016 年, <<http://www.mlit.go.jp/common/001124404.pdf>>, (入手 2017.4.5), 29 年 3 月版に改訂されたため受付時はリンク切れ.
- 13) 国土交通省: 平成 28 年度(i-Construction 版)土木工事数量算出要領(案)平成 28 年 3 月, 2016 年, pp.1-2-6 - 1-2-7, <<http://www.nilim.go.jp/lab/pbg/theme/theme2/sr/yoryoi/s-1-02.pdf>>, (入手 2017.4.5).
- 14) 国土交通省: 土木工事施工管理基準(案)平成 28 年 3 月, 2016 年, <http://www.mlit.go.jp/tec/sekisan/sekou/pdf/280330kouji_sekoukanrikijun01.pdf>, (入手 2017.4.5).
- 15) i-Construction 委員会:【参考資料】新たに導入する 15 の基準及び積算基準, 2016 年, <<http://www.mlit.go.jp/common/001127188.pdf>>, (入手 2017.4.5).
- 16) 矢吹信喜: CIM 入門 ー建設生産システムの変革ー, 理工図書, 2016 年, pp.122-126.
- 17) 国土交通省国土技術政策総合研究所: LandXML1.2 に準じた 3 次元設計データ交換標準(案) Ver.1.0 平成 28 年 3 月, p.16, <<http://www.nilim.go.jp/lab/qbg/bunya/cals/information/files/ks0903.pdf>>, (入手 2017.4.5).
- 18) 国土交通省: i-Construction の取組状況(ICT 土工事例集)ver.2 平成 29 年 3 月, 2017 年, <<http://www.mlit.go.jp/common/001186304.pdf>>, (入手 2017.4.17).
- 19) 国土交通省: 空中写真測量(無人航空機)を用いた出来形管理要領(土工編)(案)平成 29 年 3 月, 2017 年, <<http://www.mlit.go.jp/common/001179704.pdf>>, (入手 2017.4.5).
- 20) 国土交通省: プレスリリース i-Construction の推進に向けた基準類の策定 ～生産性向上を通じた魅力ある建設現場の実現に向けて～, 2017 年 3 月 31 日.
- 21) 近藤弘嗣, 森川博邦, 藤島崇: i-Construction における UAV を用いた出来形管理の基準類のカイゼン, 土木情報学シンポジウム講演集, vol.42, 2017 年, pp.109-112.
- 22) ICT 導入協議会: 第 4 回協議会資料 1, 2017 年, <<http://www.mlit.go.jp/common/001174968.pdf>>, (入手 2017.4.5).
- 23) ICT 導入協議会: 第 4 回協議会参考資料, 2017 年, <<http://www.mlit.go.jp/common/001174972.pdf>>, (入手 2017.4.5).
- 24) 国土交通省: T S を用いた出来形管理要領(土工編)平成 29 年 3 月, 2017 年, <<http://www.mlit.go.jp/common/001179711.pdf>>, (入手 2017.4.5).
- 25) 国土交通省: 無人航空機搭載型レーザースキャナーを用いた出来形管理要領(土工編)(案)平成 29 年 3 月, 2017 年, <<http://www.mlit.go.jp/common/001179723.pdf>>
- 26) 国土交通省 CIM 導入推進委員会: CIM 導入ガイドライン(案)第 1 編 共通編 平成 29 年 3 月, 2017 年, <<http://www.mlit.go.jp/tec/it/pdf/guide01.pdf>>, (入手 2017.4.7).
- 27) 国土交通省 CIM 導入推進委員会: CIM 導入ガイドライン(案)第 2 編 土工編 平成 29 年 3 月, 2017 年, <<http://www.mlit.go.jp/tec/it/pdf/guide02.pdf>>, (入手 2017.4.7).
- 28) 国土交通省 CIM 導入推進委員会: CIM 導入ガイドライン(案)第 3 編 河川編 平成 29 年 3 月, 2017 年, <<http://www.mlit.go.jp/tec/it/pdf/guide03.pdf>>, (入手 2017.4.7).
- 29) 国土交通省 CIM 導入推進委員会: CIM 導入ガイドライン(案)第 4 編 ダム編 平成 29 年 3 月, 2017 年, <<http://www.mlit.go.jp/tec/it/pdf/guide04.pdf>>, (入手 2017.4.7).

- 30) 国土交通省 CIM 導入推進委員会: CIM 導入ガイドライン(案)第5編 橋梁編 平成29年3月, 2017年, <<http://www.mlit.go.jp/tec/it/pdf/guide05.pdf>>, (入手2017.4.7).
- 31) 国土交通省 CIM 導入推進委員会: CIM 導入ガイドライン(案)第6編 トンネル編 平成29年3月, 2017年, <<http://www.mlit.go.jp/tec/it/pdf/guide06.pdf>>, (入手2017.4.7).
- 32) 家入龍太監修, フォーラムエイト編著: BIM/CIM ワールド BIM/CIM モデル活用を広げる最新技術, 日刊建設通信新聞社, 2016年, p.64.
- 33) 国土交通省 CIM 導入推進委員会: 第3回委員会資料, 2017年, <<http://www.mlit.go.jp/tec/it/pdf/shiryoku3.pdf>>, (入手2017.4.5).
- 34) 大島章一: 海底地形調査の歴史と現状, 地学雑誌 Journal of Geography, 109巻3号, 2000年, pp.474-482.
- 35) 関西国際空港2期建設協力会埋立部会: 2期空港島造成工事(揚土工)工事記録, 2004年.
- 36) 野口哲史・村木義和: 大規模工事における工事管理システムの構築・運用, 第9回東京国際空港建設技術報告会, 2010年, pp.6-20-6-21, <http://www.paktr.mlit.go.jp/haneda/haneda/01-gaiyou/d-run/gijutsu_houkoku/houkoku_009/pdf/ronbun_06.pdf>, (入手2017.5.31).
- 37) 港湾における ICT 導入検討委員会: 第2回委員会参考資料, 2016年, <<http://www.mlit.go.jp/common/001154286.pdf>>, (2017.4.7 入手).
- 38) 港湾における ICT 導入検討委員会: 第1回委員会参考資料, 2016年, <<http://www.mlit.go.jp/common/001135500.pdf>>, (2017.4.7 入手).
- 39) 国土交通省: マルチビームを用いた深浅測量マニュアル(浚渫工編)(案)平成29年3月, 2017年, <<http://www.mlit.go.jp/common/001177798.pdf>>, (入手2017.4.7).
- 40) 海上保安庁: 海上保安庁告示第102号別表二, 2002年, 2009年一部改訂, <http://www1.kaiho.mlit.go.jp/GIJUTSUKOKUSAI/SHIDOW/site0013/_userdata/annex2.pdf> (入手2017.7.5).
- 41) 海上保安庁: 平成26年海上保安庁告示第35号, 2014年, <http://www1.kaiho.mlit.go.jp/GIJUTSUKOKUSAI/SHIDOW/site0013/_userdata/kokuji35.pdf> (入手2017.8.31).
- 42) 国土交通省: 3次元データを用いた港湾工事数量算出要領(浚渫工編)(案)平成29年3月, 2017年, <<http://www.mlit.go.jp/common/001177799.pdf>>, (入手2017.4.7).
- 43) 国土交通省: 3次元データを用いた出来形管理要領(浚渫工編)(案)平成29年3月, 2017年, <<http://www.mlit.go.jp/common/001177804.pdf>>, (入手2017.4.7).
- 44) 国土交通省: 無人航空機搭載型レーザースキャナーを用いた出来形管理要領(土工編)(案), 平成29年3月, 2017年, <<http://www.mlit.go.jp/common/001179723.pdf>>, (入手2017.4.5).
- 45) 国土交通省: 地上型レーザースキャナーを用いた出来形管理要領(舗装工事編)(案), 平成29年3月, 2017年, <<http://www.mlit.go.jp/common/001181639.pdf>>, (入手2017.4.12).
- 46) 国土交通省: TSを用いた出来形管理要領(土工編), 平成29年3月, 2017年, <<http://www.mlit.go.jp/common/001179711.pdf>>, (入手2017.4.5).
- 47) 国土交通省: RTK-GNSSを用いた出来形管理要領(土工編), 平成29年3月, 2017年, <<http://www.mlit.go.jp/common/001179721.pdf>>, (入手2017.4.5).
- 48) 国土交通省港湾局: 港湾工事工種体系ツリー, <<http://www.mlit.go.jp/common/001206496.pdf>>, (入手2017.7.31).
- 49) 国土交通省港湾局: 港湾工事共通仕様書 平成29年3月3. 港湾工事出来形管理基準, 2017年, <<http://www.mlit.go.jp/common/001180382.pdf>>, (入手2017.4.11).
- 50) (一社)日本作業船協会: 捨石投入作業支援装置, NETIS 登録 No. HKK-070002-VE, <http://www.netis.mlit.go.jp/NetisRev/Search/NtDetail1.asp?REG_NO=HKK-070002&TabType=2&nt=nt>.
- 51) 東北地方整備局 八戸港湾・空港整備事務所・みらい建設工業株式会社: 生産性向上の手応えを得た港湾工事初の ICT を全面導入した浚渫工事, SCOPE NET VOL.78, 2017年, pp13-15.
- 52) 港湾における ICT 導入検討委員会: 第4回委員会資料, 2017年, <<http://www.mlit.go.jp/common/001207353.pdf>>, (2017.11.1 入手).
- 53) (一財)港湾空港総合技術センター: 港湾工事施工ハンドブック, 2016年, p.2-9-6.
- 54) 港湾における ICT 導入検討委員会: 第3回委員会資料, 2017年, <<http://www.mlit.go.jp/common/001174949.pdf>>, (2017.4.7 入手).
- 55) 平成27年度久慈港湾口地区防波堤(北堤)築造工事: 水中部状況調査・上部工状況調査報告書 平成28

- 年 3 月, 2016 年.
- 56) 国土交通省港湾局監修, 港湾空港総合技術センター
編集: 港湾請負工事積算基準 平成 29 年 3 月, 日本
港湾協会, 2017 年.
- 57) 国土交通省: ICT 活用工事積算要領(浚渫工編)(案),
2017 年, <<http://www.mlit.go.jp/common/001177810.pdf>>, (入手 2017.4.7).
- 58) 国土交通省: 3 次元データ利活用方針, 平成 29 年 11
月, 2017 年, <<http://www.mlit.go.jp/common/001210739.pdf>>, (入手 2017.11.20).
- 59) 国土交通省: ICT の全面的な活用の推進に関する実
施方針(別紙-1)UAV 等を用いた公共測量実施要領,
2017 年, <<http://www.mlit.go.jp/common/001180265.pdf>>, (入手 2017.4.5).
- 60) 国土交通省: マルチビームを用いた深浅測量マニ
ュアル(浚渫工編)(案)平成 29 年 3 月, 2017 年, p17,
<<http://www.mlit.go.jp/common/001177798.pdf>>, (入
手 2017.4.7).
- 61) 菅井秀翔・宮地邦英・中村孝之・南秀和・橘克巳:
UAV を活用した写真測量の精度検証, 国土地理院時
報 129 集, 2017 年, <<http://www.gsi.go.jp/common/000192398.pdf>>, (入手 2017.12.15).
- 62) 石田大輔・服部聡子・織田和夫・近藤弘嗣・長山真
一・重高浩一: UAV を用いた 3 次元出来形計測と精
度検証, 先端測量技術 No.108, 2016 年, pp.62-69.
- 63) 三國貴一, 勝田哲史, 石田仁, 山中哲志: UAV を用
いた写真測量の港湾構造物への適用の検討, 土木学
会第 72 回年次学術講演会講演概要集 2017 年第 6 部
門, pp.1481-1482.
- 64) 不動テトラ(株): テトラポッドの形状寸法図<http://www.fudotetra.co.jp/products/images/tetrapod_fig03.pdf
>, (入手 2017.12.18).
- 65) 海上保安庁海洋情報部: 潮汐推算<http://www1.kaiho.mlit.go.jp/KANKYO/TIDE/tide_pred/index.htm>.
- 66) 国土交通省: 平成 29 年度(4 月版) 土木工事数量
算出要領(案)平成 29 年 4 月, 2017 年, pp.1-4-3 -
1-4-4, <<http://www.nilim.go.jp/lab/pbg/theme/theme2/sr/yoryo2904/s-2904-1-04.pdf>>, (入手 2017.10.25).
- 67) 国土交通省港湾局監修, 港湾の施設の技術上の基準・
同解説検討委員会編集: 港湾の施設の技術上の基準・
同解説 平成 19 年 7 月, 日本港湾協会, 2007 年,
pp.858-862.
- 68) 眞鍋匠: リアルタイム水中可視化計測による施工管
理技術～4D ソナーシステム～, 平成 26 年度中国地
方建設技術開発交流会, 2014 年, <http://www.cgr.mlit.go.jp/ctc/tech_dev/kouryu/T-Space/ronbun/pdf/26_hirosima/H26_hiroshima_07.pdf>, (入手 2017.7.7).
- 69) 井上満: 京浜港ドックを活用した海洋における有効
な調査技術の実用実証試験(報告その 3), 2018 年,
pp.11-13, <<http://www.jamsa.or.jp/upload/20180111.pdf>
>, (入手 2018.1.12).
- 70) 實村昂士・金田真一・藤田温斗・池間仁子・戸村健
太郎・大鋸朋生: 航空レーザ測深(ALB)による河
川・海岸線の計測事例紹介, 先端測量技術 No.108,
2016 年, pp.82-87.
- 71) 小川善史・福岡浩史: 河川縦横断測量における ALB
の活用について, 平成 29 年度近畿地方整備局研究
発表会論文, 2017 年, <<https://www.kkr.mlit.go.jp/plan/happyou/theses/2017/pdf05/shingijutsu-13.pdf>>, (入
手 2018.1.26).
- 72) 近畿地方整備局: プレスリリース「革新的河川管理
プロジェクト」初の現地実証着手!!, 2017 年 4 月
19 日.
- 73) 佐藤靖彦, 細野高宏, 杉本幸信, 矢尾板敬, 堺浩一,
石塚淑大: MMS 計測および UAV 空中写真測量によ
る盛土完成時の出来形計測事例, 土木建設技術発表
会 2017 概要集 2017 年, pp.1-4.
- 74) 国土交通省港湾局: 全国港湾海洋波浪情報網 リアル
タイムナウファス, 久慈港, データ期間 2015 年 6 月
18 日～2017 年 3 月 6 日<<http://www.mlit.go.jp/kowan/nowphas/>>, (工事期間中各日入手).
- 75) 栗山善昭: 生産性革命に向けた技術開発 - 港湾での
生産性向上への取り組みと今後の展望 -, SCOPE
NET VOL.78, 2017 年, pp.3-7.
- 76) 山中哲志, 石田仁, 勝田哲史: 港湾栈橋工事におけ
る CIM 運用手法確立, 土木情報学シンポジウム講演
集, Vol.42, 2017 年, pp.27-30.
- 77) インフラメンテナンス国民会議: インフラメンテナ
ンス国民会議概要資料, 2016 年, <<http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/im/about/pdf/171031gaiyou.pdf>>, (入手
2018.1.31).

付録 A 日本埋立浚渫協会へのアンケート（アンケート票）

以下に日本埋立浚渫協会理事会社へ配布したアンケート票を記載する

平成〇年〇月〇日

一般社団法人 日本埋立浚渫協会 会員 各位

国土交通省 国土技術政策総合研究所
港湾研究部 港湾施工システム・保全研究室長

港湾工事における i-Construction に関するアンケート調査について
(協力のお願い)

平素より国土交通行政にご理解とご協力を賜り、ありがとうございます。

現在、国土交通省においては、生産性革命プロジェクトの一環として i-Construction を導入し、建設生産システム全体の生産性向上を図り魅力ある建設現場を作る取り組みを行っています。こうした取り組みの中で、国土技術政策総合研究所では、ICT の活用状況や新技術の動向・ニーズを把握するとともに、さらなる港湾分野における生産性向上に向けた検討を行っております。

つきましては、この検討の参考とするため、業務多忙の中、大変恐縮ですが、下記のアンケート調査にご協力頂きますようお願い致します。

記

・アンケート調査内容

別添エクセルファイル「港湾工事における i-Construction の拡大についてのアンケート」にご記入頂き、以下の提出先まで電子メールにてご提出ください。

またアンケート内容に関する問い合わせも下記までお願いします。

・問合先及び回答提出先

国土交通省 国土技術政策総合研究所 港湾研究部 港湾施工システム・保全研究室
担当 ○○

E-mail : ○○@○○ TEL : --

・提出期限

平成〇年〇月〇日()まで

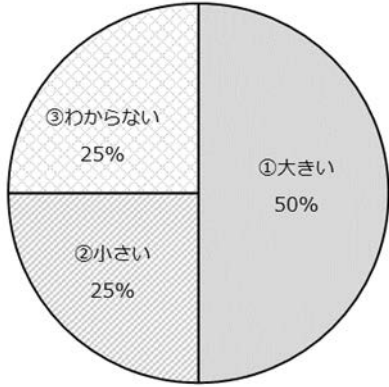
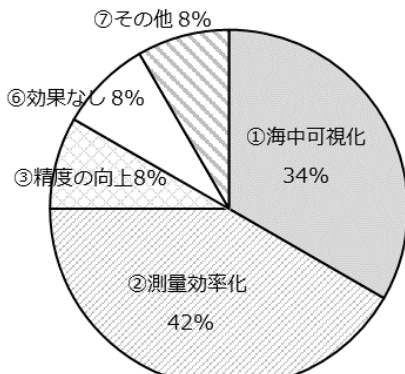
港湾工事におけるi-Constructionの拡大についてのアンケート	
■今年度より浚渫工事において、ICT活用工事としてICT浚渫工が導入されました。 これは国交省が進める建設現場の生産性向上を目指す「i-Construction」の港湾分野における動きです。以下の用語を確認の上、質問にお答えください。 ○用語解説 【ICT活用工事】起工(事前)測量から検査・納品までの建設生産プロセスにおいてICT(情報通信技術)を全面的に活用する工事。以下UAV(ドローン)やレーザースキャン(LS),ナローマルチビーム(下記参照),ICT建設機械等を導入することを「ICT活用」と記載する。 【ナローマルチビーム方式による深淺測量(以下NMB測量)】測量船の左右方向に指向性の鋭い音響ビームを海底に扇形状に照射し、船の進行とともに一括で多数点の水深値を計測するスワス測深のひとつの方式でICT浚渫工におけるICT測深機器として位置づけられている。 質問の回答が選択肢になっている場合は、右側選択回答欄塗潰し部分のリストより選択ください。	
質問事項	選択回答欄
Q1. 会社名を以下の黄色枠内にお書きください。	
Q2. ICT浚渫工についてお伺いします。	
Q2-1. ICT浚渫工の生産性向上効果について思うことを以下から1つ選んでください。 ①生産性向上効果が大きい ②生産性向上効果が小さい ③よくわからない(以下の黄色枠内に理由等をお書きください)	
Q2-2. ICT浚渫工において生産性向上効果が特に大きいと思うものを以下から1つ選んでください。また、その理由、⑦については具体的内容を以下の黄色枠内にお書きください。 ①海中の可視化 ②測量・数量計算作業の効率化 ③出来形精度の向上 ④労務数の削減 ⑤施工費の縮減 ⑥効果はほとんどない ⑦その他	
Q2-3. ICT浚渫工において課題として特に大きいと思うものを以下から1つ選んでください。また、その理由、⑤については具体的内容を以下の黄色枠内にお書きください。 ①測量・解析時間による手待ちの発生 ②測量・数量計算の作業量増加 ③解析ソフトや3D CAD等の操作技能の向上 ④NMB測深機や解析ソフト等への投資 ⑤課題は特になし ⑥その他	
Q3. NMB測量についてお伺いします。	
Q3-1. 貴社が過去実施したNMB測量において最も多いものを以下から1つ選んでください。 ①自社の機械で実施した ②測量会社等に外注し実施した ③その他 ④経験がない	
Q3-2. NMB測量を実施した目的で最も多いものを以下から1つ選んでください。 ①浚渫工事における測量 ②浚渫以外の工事の事前測量や出来形測量 ③水路測量などの調査業務 ④緊急の被災調査など ⑤その他(以下の黄色枠内に具体的にお書きください)	

港湾工事におけるi-Constructionの拡大についてのアンケート	
Q3-3. 貴社がNMB測量を初めて導入した経緯を以下から1つ選んでください。 ①工事受注のための技術提案として ②水中の可視化技術の研究開発のため ③短時間で広範囲の測量を行うため ④その他（以下の黄色枠内に具体的にお書きください）	
Q3-4. 従来のシングルビームでの深浅測量と比べて、NMB測量の生産性について思うことを以下から1つ選び、以下の黄色枠内にその理由をお書きください。 ①生産性が上がる ②生産性が下がる ③変わらない ④わからない ※測量の範囲は一般的な防波堤や岸壁の築造工事程度でお考え下さい。	
Q3-5. シングルビームでの深浅測量と比べて、NMB測量の使い勝手について思うことを以下から1つ選び、以下の黄色枠内にその理由をお書きください。 ①使いやすい ②使いにくい ③長所短所それぞれあり一概に言えない ④変わらない ⑤わからない	
Q3-6. ICT浚渫工が求めるNMB測量の取得データ密度は、0.5mメッシュ内に3点以上です。この点について作業性や活用目的を考慮して思うことを1つ以下から選んでください。 ①より密なデータがよい(データ量大) ②適切である ③もっと粗なデータがよい(データ量小)	
Q3-7. 浚渫工以外へNMBを導入する場合に、NMB測量の取得データ密度について課題となることをがあれば、以下の黄色枠内にお書きください。[自由意見欄]	
Q3-8. ICT浚渫工が求めるNMB測量の精度は±10cmです。導入拡大に際し、精度について課題なることがあれば、以下の黄色枠内にお書きください。[自由意見欄]	
Q3-9. 貴社が実施した1回のNMB測量の解析にどのくらいかかりましたか？以下黄色枠内に要したおおまかな日数をお書きください。またこの点について、導入拡大にあたり、課題になることがあれば、黄色枠内に続けてお書きください。[自由意見欄]	
Q4. NMB測量以外のICT測量機械について伺います。	
Q4-1. 近年、リアルタイムに水中を3次元表示できる機器の施工管理への導入が進んでいます。今後のこういった機器の動向について思うことを以下から1つ選んでください。 ①港湾工事の管理の中心になる ②難易度の高い港湾工事での利用が進む ③高価であるためしばらくは普及しない ④港湾工事以外(河川等)でも普及する ⑤わからない ⑥その他（以下の黄色枠内に具体的にお書きください）	

港湾工事におけるi-Constructionの拡大についてのアンケート	
Q4-2. 陸上の土工や舗装工ではUAV(ドローン)やLS(レーザースキャナ)が導入されています。UAV, LSの港湾工事の陸上部分へ導入することについて思うことを1つ選んでください。 ①短時間で広範囲の計測, 可視化が進むなどの効果が期待できる ②現状の測量機器で十分であり効果は変わらない ③その他 (以下の黄色枠内に具体的にお書きください)	
Q4-3. NMB以外のICT機器の導入について, ご意見があればお書きください。測量機器に限らず, MCブルドーザのようなICT建設機械についてもここにお書きください。[自由意見欄]	
Q5. 浚渫工に続くICT活用工事について伺います。	
Q5-1. 3次元点群データを導入・活用する工事として良いと思われる工事を1つ選んでください。以下の黄色枠内にその理由もお書きください。 ①防波堤築造工事 ②岸壁築造工事 ③岸壁改良工事 ④地盤改良工事 ⑤その他	
Q5-2. 現状で点群データの活用により生産性や安全性が向上すると思う工種・作業とその理由を以下黄色枠内にお書きください。[自由意見欄]	
Q5-3. 現状で点群データの活用が難しいと思う工種・作業とその理由を以下黄色枠内にお書きください。[自由意見欄]	
Q5-4. 浚渫工以外の工種における点群データ活用以外のICT活用についてご意見があれば, 以下黄色枠内にお書きください。[自由意見欄]	
Q6. 貴社における3次元CADなどのソフト等の整備状況について以下より1つ選んでください。 ①整備済みだ ②整備中で運用の目途が立っている ③整備中でまだまだ時間がかかる ④対象工事の都度準備する状況 ⑤全く進んでいない	
Q7. i-Construction, ICT活用工事等に関してご意見及び上記質問事項に関して追記事項等があれば, 以下の黄色枠内にお書きください。[自由意見欄]	

付録 B 日本埋立浚渫協会へのアンケート（回答と集計）

以下に日本埋立浚渫協会理事会社へ配布したアンケートの回答と集計を記載する。記述式の回答については、アンケート票に記載のまま転記している。

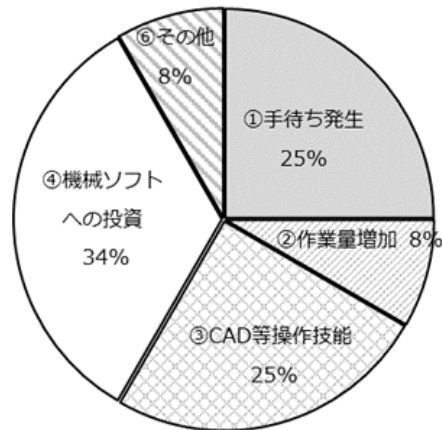
Q2-1. ICT 浚渫工の生産性向上効果について思うことを以下から 1 つ選んでください。 ①生産性向上効果が大きい ②生産性向上効果が小さい ③よくわからない（理由等をお書きください）																
 <table border="1"> <caption>Q2-1 回答集計</caption> <thead> <tr> <th>回答</th> <th>割合</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>①大きい</td> <td>50%</td> </tr> <tr> <td>②小さい</td> <td>25%</td> </tr> <tr> <td>③わからない</td> <td>25%</td> </tr> </tbody> </table>	回答	割合	①大きい	50%	②小さい	25%	③わからない	25%								
回答	割合															
①大きい	50%															
②小さい	25%															
③わからない	25%															
③の理由等 ・どちらとも言えない。1) ノイズ除去に大きく時間は掛かるが、その後の土量計算などはソフトウェア次第で解析処理が早い。2) 収録ソフト、解析ソフトの取扱いには、適切な教育と修練が必要であり、使いこなせるに至るには、多大な時間と労力を要する。3) 測量船の機装（装置の着脱、パラメータの入力、キャリブレーション等を含む）に多大な労力と時間が掛かるため、測量専用船の調達、船員の確保等別途費用が掛かる。（F 社） ・現状での生産性向上効果はケースバイケースだと思います、今後、ハード（簡易化、コストダウン）、ソフト（生産性向上につながる施工管理規準の整備やデータの活用方法の整理等）のさらなる進展が必要。（G 社） ・施工前のため分かりません（J 社） ◆補足意見（文頭の丸数字が回答選択番号） ②解析に手間と時間がかかるため、現時点では生産性向上の効果は小さい。（D 社）																
Q2-2. ICT 浚渫工において生産性向上効果が特に大きいと思うものを以下から 1 つ選んでください。また、その理由、⑦については具体的内容をお書きください。 ①海中の可視化 ②測量・数量計算作業の効率化 ③出来形精度の向上 ④労務数の削減 ⑤施工費の縮減 ⑥効果はほとんどない ⑦その他																
 <table border="1"> <caption>Q2-2 回答集計</caption> <thead> <tr> <th>回答</th> <th>割合</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>①海中可視化</td> <td>34%</td> </tr> <tr> <td>②測量効率化</td> <td>42%</td> </tr> <tr> <td>③精度の向上</td> <td>8%</td> </tr> <tr> <td>④労務数の削減</td> <td>8%</td> </tr> <tr> <td>⑤施工費の縮減</td> <td>8%</td> </tr> <tr> <td>⑥効果なし</td> <td>8%</td> </tr> <tr> <td>⑦その他</td> <td>8%</td> </tr> </tbody> </table>	回答	割合	①海中可視化	34%	②測量効率化	42%	③精度の向上	8%	④労務数の削減	8%	⑤施工費の縮減	8%	⑥効果なし	8%	⑦その他	8%
回答	割合															
①海中可視化	34%															
②測量効率化	42%															
③精度の向上	8%															
④労務数の削減	8%															
⑤施工費の縮減	8%															
⑥効果なし	8%															
⑦その他	8%															

Q2-2 選択理由及び⑦の具体的内容 (文頭の丸数字が回答選択番号)

- ①一度で、広範囲の海底状況の把握ができる。またシングルビームと異なり、測量船の操船の違いによる数値の差異がほとんどなく、的確に海底の状況が把握できる。(A 社)
- ①可視化した出来形を漏れなく確認することができるため、手戻りが少なくなる。(D 社)
- ②測量結果が(x,y,z)データであり、数量計算作業が省力化できるため (B 社)
- ②従来はデータの解析に時間がかかっていたが、NMB 測量では解析時間が短縮されたので、効率化されたと思われる。(B 社)
- ③面的に管理できるため、従来より出来形精度向上につながる (K 社)
- ⑥今まで自主的にNMB測量による深淺測量を実施していたため、それとの比較では効果は小さい。(C 社)
- ⑦施工中に NMB 測量を使用すると、掘り残しのない効率的な施工ができます。従来の単素子測量では測線間隔が 10m~20mのため測線間の掘り残しが起こりやすく、過掘や手戻り施工が懸念されます。(E 社)

Q2-3. ICT 浚渫工において課題として特に大きいと思うものを以下から 1 つ選んでください。また、その理由、⑥ (※本票の⑤は誤記のため修正) については具体的内容をお書きください。

- ①測量・解析時間による手待ちの発生 ②測量・数量計算の作業量増加
③解析ソフトや 3D CAD 等の操作技能の向上 ④NMB 測深機や解析ソフト等への投資
⑤課題は特にない ⑥その他

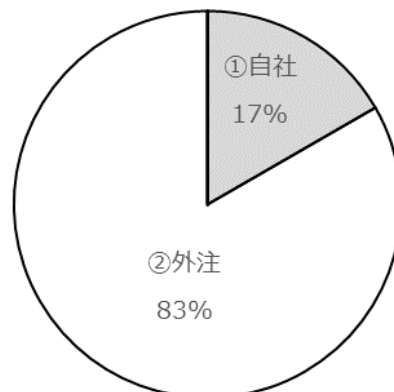


選択理由及び⑥の具体的内容 (文頭の丸数字が回答選択番号)

- ①測量結果が出るまでに時間を要するため、手待ちが発生することがある。(D 社)
- ②NMB 測量による事前深淺測量結果から、設計計画浚渫断面の作成作業量が負担となっている。(C 社)
- ③新しいことをおこなうときの導入初期には、その操作技能が課題となる (B 社)
- ③NMB 測量および解析作業は外注になるので、職員の技術力向上につながりにくい (K 社)
- ④使用機器や解析ソフトが高価である。(B 社)
- ④自社で NMB 測深機を複数台所有するには高価すぎます。異常値データ除去等の解析ソフトの習得には多くの経験を積む必要やデータ改竄の課題があり、現状では測量会社に依頼する事が多いです。(E 社)
- ④解析フォーマットの統一化や測深機の高度化へ対して、常に最新のものを準備する必要があり、償却期間が著しく短くなると想定している。(G 社)
- ⑥ ①③④の 3 点が課題である (A 社)
- ①NMB の測量結果は、解析に半日から 1 日かかる。もっと解析時間を短くしその場で結果が分かるようになることが課題である。
- ③専門業者や専門技術者に任せてしまう傾向がある。受発注者の知識向上が必要である。
- ④機器損料・解析ソフトの低価格化と、取り扱いの容易な機器や解析ソフトの開発が課題である。

Q3-1. 貴社が過去実施した NMB 測量において最も多いものを以下から 1 つ選んでください。

①自社の機械で実施した ②測量会社等に外注し実施した ③その他 ④経験がない

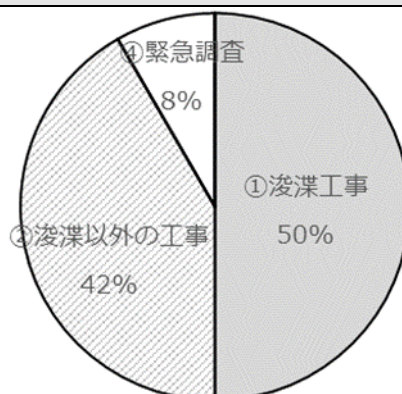


◆補足意見（文頭の丸数字が回答選択番号）

①以前は自社の機械が多かった(①)。近年は測量会社等に外注が多い(②)。平均すれば半々程度である。
(A 社)

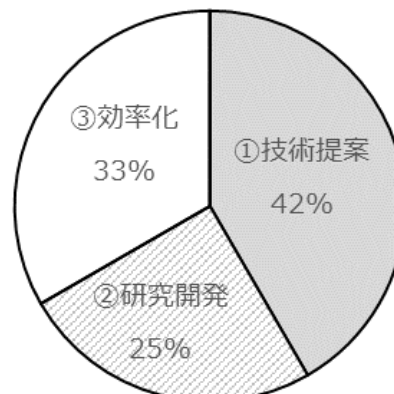
Q3-2. NMB 測量を実施した目的で最も多いものを以下から 1 つ選んでください。

①浚渫工事における測量 ②浚渫以外の工事の事前測量や出来形測量 ③水路測量などの調査業務
④緊急の被災調査など ⑤その他（具体的にお書きください）



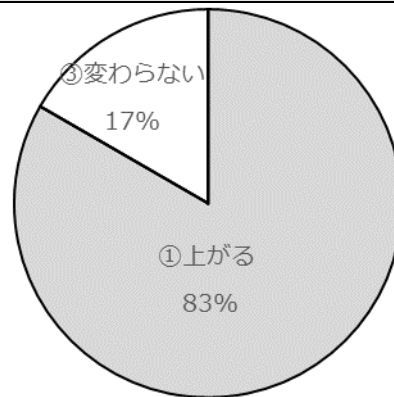
Q3-3. 貴社が NMB 測量を初めて導入した経緯を以下から 1 つ選んでください。

①工事受注のための技術提案として ②水中の可視化技術の研究開発のため
③短時間で広範囲の測量を行うため ④その他（具体的にお書きください）



Q3-4. 従来のシングルビームでの深浅測量と比べて、NMB 測量の生産性について思うことを以下から 1 つ選び、その理由をお書きください。

①生産性が上がる ②生産性が下がる ③変わらない ④わからない



選択理由 (文頭の丸数字が回答選択番号)

①出来形が見える化（面的に色別表示）されることにより、掘り残し箇所の平面位置（座標）を特定し、作業関係者への確に情報提供でき、今後の施工方針など検討することができる。ビームの幅があるので、岸壁際や栈橋下また作業船直下など測量船が行けないところも測ることができる（A 社）

①深浅図を面的に把握できることは生産性が上がると思う。数量計算の時間短縮が図れる。（B 社）

①面的な測量が実施でき、詳細なデータが得られるため、次工程の検討等の計画精度が向上する。（D 社）

①着工前の NMB 測量により、面的かつ精度良く把握した現状データを、詳細施工計画に反映することで後戻り施工の起こりにくい施工が可能となります。（E 社）

①精度の高いデータを高密度で CAD に取り込めるので、測量データの解析が迅速にできる。また、施工時に実施すれば、出来形状況も把握でき手戻り施工も少なくなる。（I 社）

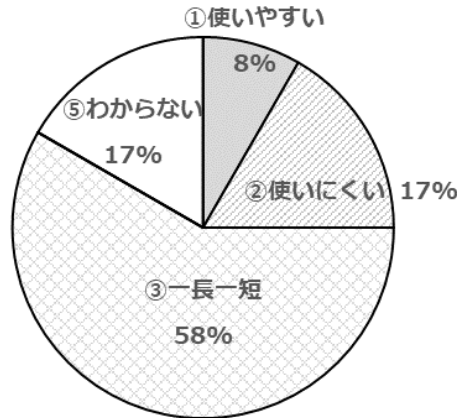
①シングルビームに比べ精度は向上（ただし場所によりそこまでの制度が必要かの議論は必要（H 社）

③水中部分を可視化できることで、詳細な現況の確認ができ、リスクの低減が図れる。が、準備・解析結果待ちなど工程のクリティカルな部分に影響すると、工事着手の遅延が生じる。（F 社）

③シングルビームとだけの生産性比較であれば、特に変わらないと思う（K 社）

Q3-5. シングルビームでの深浅測量と比べて、NMB 測量の使い勝手について思うことを以下から 1 つ選び、その理由をお書きください。

- ①使いやすい ②使いにくい ③長所短所それぞれあり一概に言えない ④変わらない
⑤わからない



選択理由 (文頭の丸数字が回答選択番号)

②艀装が大変である (B 社)

②機械設備が重設備となり、艀装、艀装解除に多大な労力、時間を要する。ワンパッケージや、器械の小型化が進まない限り、単素子より使い勝手が向上することは無いと思われる。(F 社)

③NMB は測深する操船の難しさは軽減されるが、機器のセットや取り扱いが複雑である。(A 社)

③短所は、機器の設定が多く、艀装に時間が掛かる。(B 社)

③シングルビームは解析が速いが土量算出は平均断面法となる。NMB 測量は解析は遅いが、解析が済んでいれば、いろんな深度ごとに土量算出が瞬時にできる。(D 社)

③狭い施工範囲・単純な施工形状の場合はシングルビームの方が効率的です(結果は NMB 測量とそれほど変わらない)。複雑かつ広い施工範囲の場合は NMB 測量の方が効率的です。つまり、施工条件に合わせて使い分ける考え方もあるかと思います。(E 社)

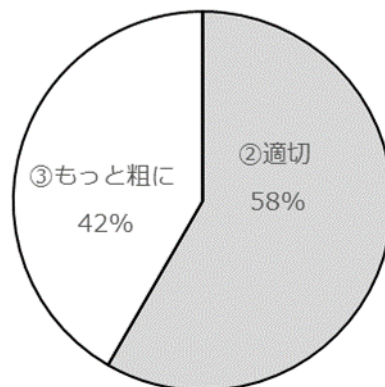
③精度は向上するが解析に時間と費用が掛かる (H 社)

⑤シングルビームでの測量は自社対応で実施するが、NMB は測量会社に任せるので比較が難しい。(I 社)

⑤シングルビームは自社で保有し実績があるが、NMB は外注なので使い勝手はよくわからない (K 社)

Q3-6. ICT 浚渫工が求める NMB 測量の取得データ密度は、0.5m メッシュ内に 3 点以上です。この点について作業性や活用目的を考慮して思うことを 1 つ以下から選んでください。

- ①より密なデータがよい(データ量大) ②適切である ③もっと粗なデータがよい(データ量小)



Q3-7. 浚渫工以外へ NMB を導入する場合に、NMB 測定の取得データ密度について課題となることがあれば、お書きください。[自由意見欄]

○自由意見

- ・工種(必要な精度)、目的（起工、出来形、土量計算など）に応じて適切なデータ密度を検討する必要がある。（A 社）
- ・外郭施設や岸壁、護岸の維持管理に導入する場合は、注意が必要であると思う（B 社）
- ・0.5m平面格子に3点以上での取得点密度であると、面積が広い場合のデータ量が大きくなる。そのため、解析後の成果品を通常のPC等で閲覧する時、データを開くのに時間が掛かる。（B 社）
- ・メッシュ内に3点以下のメッシュが3つ以上連続してはいけないとの規定があるが、測量後に結果が判明するため3つ以上連続してしまった時に再計測することは費用的に困難である。（C 社）
- ・無意味にデータ密度を高くしても解析に時間がかかるため、使用目的によってデータ密度を適切に設定する必要がある。（D 社）
- ・防波堤等の様に法面や断面変化が大きな場所がある場合は 0.5m メッシュ内に3点以上のデータ密度が必要だと思います。平坦な場所の場合はデータ密度を粗にしたほうが効率的です。水深が浅い工種に適用した場合、測線が増え非効率になる場合が想定されます。（E 社）

Q3-7 自由意見続き

- ・防波堤等の深浅を実施する場合、異形ブロックの状態を確認するのでは 0.5m メッシュでは把握することは難しいと思うので、目的に沿った取得データ密度とすることが望ましい。（F 社）
- ・取得データ密度については対象構造物や工種毎に変わるものと想定しているが、施工管理上は従来の測定方法での取得密度で良いはずであるので取得データの施工後の活用方針が重要。（G 社）
- ・捨石本均しの出来形を測定する際は密なデータがよいが、消波ブロックや被覆ブロックの維持管理に当たってはおよその状況が判断できればよいので、粗いデータでもよいと思われる。（H 社）
- ・波消工の測量では水面部分のデータが不確実で、水上部の UAV 測量との結合には、多少測量手法における統一性が必要である。なお、NMB 等のデータより断面を作成して、数量を算出する場合はデータが高密度のため、断面の取り方によっては数量が変わってしまいますので、数量算定の決め事を標準化する必要がある。（I 社）
- ・基礎マウンド築造など、浚渫より高い精度を求められる場合の密度の適性（J 社）
- ・地上レーザーや MMS と合成するとなると、データ密度は上げた方がよいかもしれない（K 社）

Q3-8. ICT 浚渫工が求める NMB 測定の精度は±10 cmです。導入拡大に際し、精度について課題なることがあれば、お書きください。[自由意見欄]

○自由意見

- ・工種、目的に応じて適切な精度を設定する必要がある。また船を使用して測量する場合は波浪による測定誤差が生じるため、それを考慮した精度管理が必要である。（A 社）
- ・均しの精度などにおいては、要求精度以上に NMB 測定の精度は必要がないと思う（B 社）
- ・測深精度を±10cm は、水路測量での許容値と比較すればかなり厳しい。測深精度の達成率（±10cm 以内を〇%まで等）を設定したほうがよいと思う。（B 社）
- ・浚渫工の精度は±10cm で問題ないが、導入する工種によっては精度向上が課題となる。（D 社）
- ・ICT 浚渫工で求められている精度±10cm は正直厳しいと思います。施工が海上であることを考慮していただけると幸いです。また、浚渫においては、NMB の取得データ密度はもっと粗でも問題ないのでは無いかと思います。その方が、データ処理に掛かる時間の短縮、ひいては解析結果待ち時間の短縮につながると思います。データ密度は各々の工種で必要最低限のものにした方が効率的だと思います。（F 社）
- ・現状は、レッド、音響測深器に代替するものなので、水中スタッフによるレベル測量の代替にはなりません。（G 社）

Q3-8 自由意見続き ・水中での出来形管理基準の測定単位に準じていれば問題はないと思われる。(H 社) ・シングルビームより理論的に精度がよいと思われるので、課題にはならない？(K 社)														
Q3-9. 貴社が実施した 1 回の NMB 測量の解析にどのくらいかかりましたか？要したおおまかな日数をお書きください。またこの点について、導入拡大にあたり、課題になることがあれば、続けてお書きください。[自由意見欄]														
○自由意見 ・測量する面積・ノイズの量による。1 日かけて測量すれば 3 日～1 週間程度。2 時間程度の測量であればノイズ除去処理、点群データの作成で 1 日程度。導入拡大には、解析処理ソフトの低価格化と、取り扱いが容易な解析ソフトの開発が課題。(A 社) ・測量成果は 1 週間程度要した (B 社) ・測量会社への外注で解析結果がでるまで、約 2 日 (測量面積約 9,500m²) かかった。解析は専用ソフトが必要である。その専用ソフトは高価であるため、簡単に導入できないことが課題である。(B 社) ・試行工事において、MNB 測量結果から数量計算を行うために 1 週間程度日数がかかりました。現在の数量計算ソフトでは現地盤面と設計面の境界処理を手作業で行う必要があります。境界処理が自動化されると作業日数の短縮が期待される。(C 社) ・測量範囲 250,000m² (500m×500m)、平均水深 10m、解析メッシュ幅 1m の場合、データ解析日数は 2 日である。(D 社) ・面積：47,000m²，データ解析：16 時間，土量計算：8 時間，課題：異常値の排除をどこまで自動化できるか、データ改竄防止をどうするか。(E 社) ・面的 (深浅図) に出来上がるまで 1 週間、数量計算が出来上がるまで 2 週間程度かかりました。(F 社) ・解析に 1 週間かかりました。測量実施した日に結果がわかるようになればいい (G 社) ・7 日程度 施設の重要性や測定面積の規模に応じてデータ量の調整が必要である。(H 社) ・基本的には測量会社に任せているが、NMB 測量等の使用頻度が増せば、自社による解析もできるようにしなければならないと考えている。(I 社) ・測量作業 1 日、解析結果受領まで約 1 週間。外注業者の仕事量に依存する。(K 社)														
Q4-1. 近年、リアルタイムに水中を 3 次元表示できる機器の施工管理への導入が進んでいます。今後のこういった機器の動向について思うことを以下から 1 つ選んでください。 ①港湾工事の管理の中心になる ②難易度の高い港湾工事での利用が進む ③高価であるためしばらくは普及しない ④港湾工事以外(河川等)でも普及する ⑤わからない ⑥その他 (具体的にお書きください)														
<table border="1"> <caption>Q4-1 回答割合</caption> <thead> <tr> <th>回答内容</th> <th>割合</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>① 港湾工事で普及</td> <td>25%</td> </tr> <tr> <td>② 港湾の難工事で普及</td> <td>17%</td> </tr> <tr> <td>③ 高価なため普及しない</td> <td>33%</td> </tr> <tr> <td>④ 港湾以外でも普及</td> <td>17%</td> </tr> <tr> <td>⑤ わからない</td> <td>8%</td> </tr> <tr> <td>⑥ その他</td> <td>8%</td> </tr> </tbody> </table>	回答内容	割合	① 港湾工事で普及	25%	② 港湾の難工事で普及	17%	③ 高価なため普及しない	33%	④ 港湾以外でも普及	17%	⑤ わからない	8%	⑥ その他	8%
回答内容	割合													
① 港湾工事で普及	25%													
② 港湾の難工事で普及	17%													
③ 高価なため普及しない	33%													
④ 港湾以外でも普及	17%													
⑤ わからない	8%													
⑥ その他	8%													

Q4-1 ⑥の具体的内容

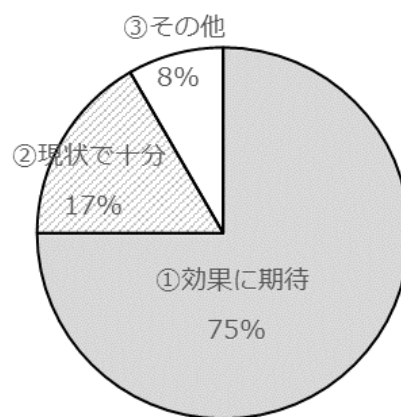
- ・要求精度に見合った機器の導入が必要だと思う (B 社)

◆補足意見 (文頭の丸数字が回答選択番号)

- ②大水深で潜水士による作業時間制限や、視界が制限される現場では特に有効。また離岸堤など従来の測量方法では位置が把握しにくい場面で有効。(A 社)
- ②高価な機器を必要とするため、費用対効果が期待できる工種に限定されられると考えられる。(D 社)

Q4-2. 陸上の土工や舗装工では UAV(ドローン)や LS(レーザースキャナ)が導入されています。UAV, LS の港湾工事の陸上部分へ導入することについて思うことを 1 つ選んでください。

- ①短時間で広範囲の計測, 可視化が進むなどの効果が期待できる
- ②現状の測量機器で十分であり効果は変わらない
- ③その他 (具体的にお書きください)



③の具体的内容

・防波堤、岸壁前面などの直立部については、防波堤などの天端からの測量はできず、海からの計測が必要になる。また、海面は常に動いているため、海面上に特徴点は得られず標定点の設置もできない。このことが、陸上の土工や舗装工と比較して、陸上部分とは言え港湾工事への UAV や LS への導入の難しい点だと思う。

対象の広さ、対象の構造物の種類、測量機器の設置条件、欲しいデータの形式(面的かそうでなくてもよいか、など)によって適する手法が異なるため、必要な精度を確保するためには、さらなる経験の蓄積やマニュアル化などの取り組みも必要になると思う。(以上 A 社)

◆補足意見 (文頭の丸数字が回答選択番号)

- ①導入にあたっては、波の影響により、水際 (水中と水上の境) のデータの取り扱いが課題と思われる。(B 社)
- ①特に消波ブロック上などの人が測量する上で危険な箇所については導入の効果が期待できると思う。(F 社)

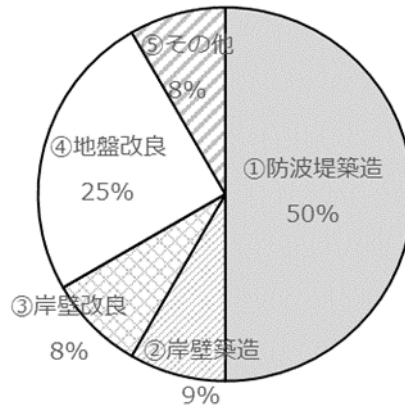
Q4-3. NMB 以外の ICT 機器の導入について、ご意見があればお書きください。測量機器に限らず、MC ブルドーザのような ICT 建設機械についてもここにお書きください。[自由意見欄]

○自由意見

- ・作業した後の管理ではなく、作業する者がリアルタイムで認識できる ICT 技術の普及が望まれる。(A 社)
- ・水中バックホウMGによる、バケットのモニター表示はオペレータに評判が良かった (B 社)
- ・ICT 機器導入に伴う費用が大きい。ICT 機器の導入に対して設計変更等の対応が必要と思う。(B 社)
- ・浚渫船の MC 化に対して補助を検討していただきたい。現在は専門者が浚渫船を保有しているため、MC 化の費用について負担が大きい。(C 社)
- ・海上工事の使用船舶は大型であり、自動化は可能であるが、安全確保に課題が残る。(D 社)
- ・捨石均しはMC水中バックホウを使用することで、安全性の向上、効率化が可能と思います。(E 社)
- ・リアルタイムに水中可視化できる 3D ソナーが普及されるように設計計上や導入補助等の施策が必要と考える。(F 社)
- ・陸上での GNSS に代替するような水中位置出しシステムの開発が不可欠。(G 社)
- ・潜水夫の位置情報システムは安全作業を行う上で必要と考える (H 社)
- ・リアルタイム 3D 等機器は高額であり、リースもないので導入には慎重にならざるおえない。また、浅水域での解析画像はノイズが酷く、改良を自社で行わなくてはならない。(I 社)
- ・陸上の場合、測量時間が大きく短縮される。海上は NMB だけでなく ICT 施工管理システムが重要 (K 社)

Q5-1. 3 次元点群データを導入・活用する工事として良いと思われる工事を 1 つ選んでください。その理由もお書きください。

①防波堤築造工事 ②岸壁築造工事 ③岸壁改良工事 ④地盤改良工事 ⑤その他



Q5-1 選択理由及び⑤の具体的内容（文頭の丸数字が回答選択番号）

- ①水中不可視部の測量における数量算出で時間短縮が期待できる。(B 社)
- ①形状が複雑な消波ブロック、被覆ブロック等の設置・撤去工への活用が考えられる。(D 社)
- ①長期間に渡り施工する防波堤工事では、データの共有化に効果があります。また、台風被災の発生しやすい防波堤では、経時変化を把握することで、防波堤の効果的な補強対策がとれると思います。(E 社)
- ①消波ブロック、マウンド近傍の状況把握がより精度向上を図れる (H 社)
- ①均し出来形の確認に利用できる (K 社)
- ②現在の岸壁には、杭、栈橋、ジャケットなどの複雑な構造形式が多く、三次元データを施工に利用することは、生産性を向上させると考える。(I 社)
- ④地盤改良後の地盤の状況を把握するのに有効であると思う (B 社)
- ④防波堤築造などで着手前は良いが、基礎工の出来形として NMB を利用すると解析待ちにより、限られた風日を逃して、その後の工程に大きく影響を与えてしまうことが懸念される。(F 社)
- ⑤防波堤築造工事 (①) は、座標を持った点群データが取得できるため、沖合の位置が把握しにくい施工箇所では効果が大きい。また工事の種類にかかわらず、水中の可視化が生産性向上や安全性向上につながる工種で活用するのが良い。(測量、浚渫・床掘、ブロック据付、水中部や栈橋下面の点検など) (A 社)

Q5-2. 現状で点群データの活用により生産性や安全性が向上するという工種・作業とその理由をお書きください。[自由意見欄]

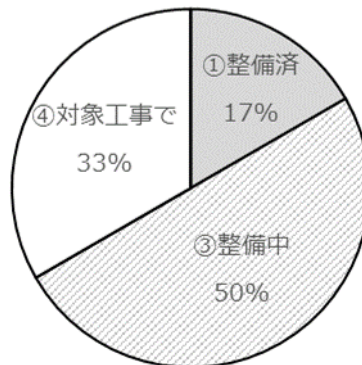
○自由意見

- ・数量検収：数量検収の時間と人工を減らすことで生産性と安全性が向上する。
被覆ブロック、根固めブロック据付：潜水作業が減らせるため安全性が向上する。
消波ブロックの出来形測量：測定者がブロックに近寄る必要が無くなる安全性が向上する。
杭の出来形測量：陸上からレーザー測量で対応できれば（測定距離や精度による）、海上作業が減らせ、生産性、安全性が向上する。(以上 A 社)
- ・浚渫や埋立など、面的な土量把握作業に点群データを活用すれば生産性が向上するという (B 社)
- ・水深が深く、面積の広い施工箇所においては生産性・安全性が期待できる。(B 社)
- ・捨石マウンドの事前、出来形計測に使用することで、施工計画の作成、出来形測量の省力化が期待できる。出来形測量は NMB により行うことで潜水作業が省略され安全性の向上も期待できる。(C 社)
- ・点群データは体積計算に用いるものではなく、可視化に活用されるデータであるため、構造物の変状確認や水中の障害物撤去等への活用が期待される。(D 社)
- ・埋立工：ぬかるんだ水際や崩れやすい法肩部の測量員による作業が回避でき安全性が向上します。また、複雑な陸上部は U A V 測量で迅速かつ精度良く測量できます。
その他：複雑な海底地形や障害物のある海域の現状を把握することで、船舶の座礁防止効果があります。(以上 E 社)
- ・消波ブロック上などの人が測量する上で危険な箇所については導入の効果が期待できると思う。(F 社)
- ・既設岸壁の改良時等に既設構造物（特に地中等の不可視部分）と新設構造物（特に地中等の不可視部分）の干渉を確認できれば生産性や作業安全性が向上する。(G 社)
- ・捨石基礎マウンドの出来形測定：潜水作業の軽減のため (H 社)
- ・栈橋上部工、ジャケット、波消工など複雑な断面を施工するには有効だと考える。(I 社)
- ・基礎工、消波工、裏込工、被覆工：水中の出来形をボリュームとして把握すべき工種 (J 社)

Q5-3. 現状で点群データの活用が難しいと思う工種・作業とその理由をお書きください。[自由意見欄] ○自由意見 ・土中内工種（改良や杭打設）の施工、出来形管理は点群取得ができないため難しい。高い精度が必要な水中構造物の出来形。（例）本ならし±5cm など。（A 社） ・数量把握作業において、沈下や体積変化率が伴う場合は、点群データ活用に注意が必要と思う（B 社） ・水深が浅い場所での測量は、積算で決められているスワス角の重複率をクリアするために、計測本数が増加し、解析に時間がかかると思われる。（B 社） ・地盤改良工、杭打設工、ケーソン中詰工など、写真およびソナーではその外郭形状が把握できない工種では困難である。（C 社） ・地盤改良のように地中部を対象とした工種への活用は困難である。（D 社） ・地盤改良工（CDM、薬液注入等）の点群データの取得が困難な工種は活用が困難と思います（今後、地中レーダー技術の向上を期待します）。（E 社） ・着手前は良いが、出来形として点群データを活用する場合は、その後の工程に影響を与えない工種が望ましい。（F 社） ・注入系の地盤改良出来形等の測定できない工種。（G 社） ・民間施設との境界部で民間事業者からデータの開示を受けれるか疑問（H 社） ・地盤改良工などは、高密度な地盤データを事前に取得するのが難しく、やはり限定されたデータでの推測に頼らなくてはならないのが現状である。（I 社） ・地盤改良工：地中不可視部のデータ取得困難 本土工：構造物形状そのものが出来形である工種（以上 J 社） ・地盤改良工事、点群データの活用の必要がない。CIMの方が向いている。（K 社）
Q5-4. 浚渫工以外の工種における点群データ活用以外の ICT 活用についてご意見があれば、お書きください。[自由意見欄] ○自由意見 ・土捨工、土工における土量管理、出来形管理。 みちびき GPS の活用により、気中部の 3 次元測位精度が向上することから、船舶誘導、ブロック誘導、材料投入、周辺船舶管理などが容易になる。 広範囲かつ人が近寄りにくい箇所の写真・点群データを、UAV やラジコンボートで取得し点検・維持管理に活用。 UAV で全体写真を作成し、工事関係者や発注者との打合せ時の説明に活用。（以上 A 社） ・作業員の活動量や健康状態を計測することに ICT を活用できないか。作業負荷と体の状態を把握して施工管理を行うことができる。（C 社） ・基礎工、消波工など：水中ソナーと AR 技術によるリアルタイム施工（据付）管理（J 社） ・もっと機器が安価で、操作、解析担当者が増やせることが出来れば、全ての工種に活用が期待されと考える。（I 社） ・現状の社内体制では、外注（CIM エンジニア等）にたよるしかない。（G 社） ・防波堤築造の完成時の点群データを取得しておくことは、維持管理において有効と思う（B 社） ・電子黒板を使用した写真管理の導入は、施工管理業務の省力化につながり、生産性向上に寄与すると思います。（E 社） ・点群データを必要としない工種に、無理に利用することはない。（K 社） ・ケーソン据付システム、沈埋函据付システム等精度向上及び生産性向上と考える（H 社）

Q6. 貴社における 3 次元 CAD などのソフト等の整備状況について以下より 1 つ選んでください。

- ①整備済みだ ②整備中で運用の用途が立っている ③整備中でまだまだ時間がかかる
④対象工事の都度準備する状況 ⑤全く進んでいない



Q7. i-Construction, ICT 活用工事等に関してご意見及び上記質問事項に関して追記事項等があれば、お書きください。[自由意見欄]

○自由意見

・ i-Construction、ICT 活用工事等を進めるためには、工種ごとにパイロット事業を進めることが重要であるとする。パイロット事業においては、従来方式との比較して生産性向上効果が得られるかどうかだけでなく、構造物の性能から決まる最低限必要な計測精度を決めた上で、精度に対する計測自体の効率や、精度に対する生産性向上効果を検証すべきである。パイロット事業の成果を踏まえて、標準化（マニュアル化）などを進めることで、さらなる技術開発と生産性向上につながっていくと考えられる。

港湾における ICT による測定は不可視な部分を可視化できるが、精度については波等に左右される部分が多い。今後 GNSS 等の機器等の高度化やみちびき GPS による精度の向上で活用場面が広がると良い。

ICT 活用はツールを使用することが目的ではなく、生産性向上が目的であるため、ICT 活用については施工規模等に合わせて工種や範囲などを協議により設定することが必要である。（以上 A 社）

・ 生産性向上は大切なことであるが、それと ICT 導入が同じではないとの認識が必要である。

港湾における ICT 活用工事は始まったばかりなので、現在の要領（案）を見直しながら運用していくと思われる。各現場で要領（案）に対応できない事項がある場合には、発注者との協議で解決できる体制が望ましい。（以上 B 社）

・ 3 次元情報を活用した施工の機械化、ロボット化により省力化、効率化を実現する必要がある。ロボットを施工者独自に開発するには負担が大きすぎるため、官民で開発を行う仕組みを考えてほしい。（C 社）

・ ICT の導入には初期投資が必要であり、導入当初は経済性の向上につながらないものもあるが、生産性向上は喫緊の課題であり、将来を見据えた国の方針決定と支援が重要である。（D 社）

・ NMB 測量機器や LS 機器は UAV 測量機器に比べ非常に高価です。ICT 活用で生産性が向上しても、トータルで利益が下がると、導入意欲が下がりますので、管理費（率）等を考慮していただきたいです。（E 社）

・ ICT を活用することが目的となって工事の工程を遅らせることは本末転倒である。海上工事の場合は、限られた風を逃さずに施工することが重要であり、測量結果も即時性が求められるため解析時間の短縮が課題である。

また、解析待ちの期間について作業船や作業員等の拘束が発生するため費用を設計計上願いたい。（F 社）

・ 現状では、コストアップとなる部分を工事価格に反映（上乘せ）いただくことで普及が進めば、将来的なコストダウンも可能。（G 社）

Q7 自由意見続き

- ・点群データの使用条件？守秘義務の範囲で使うことが条件と考えるが発注前の技術提案等に使用可能になるのか、この場合一般でも利用可能になるのか。民間工事での実測データは開示できるのか（H社）
- ・生産性の定義がまだ曖昧で、ただ単に作業効率が上がっても多大の経費が高んでは、企業としては進めていくことが難しい。長期コストも見据えた形で、全体的なバランスを考えて生産性を判断しなければいけないと思う。（I社）
- ・ICTを活用した作業船管理システムは、現場条件や施工条件に応じた手作り感が強いが、もう少しスマートな汎用性の高いものにする必要がある。（J社）
- ・浚渫工は、従来から企業努力でNMBを利用しているため、積算に反映されることはよい。（K社）

付録 C 海洋・港湾構造物維持管理士へのアンケート（アンケート票）

以下に海洋・港湾構造物維持管理士へ配布したアンケート票を記載する

平成〇年〇月〇日

海洋・港湾構造物維持管理士会 事務局

〇〇 〇〇殿

国土交通省 国土技術政策総合研究所
港湾研究部 港湾施工システム・保全研究室長

港湾の維持管理分野における i-Construction の導入についてのアンケート調査について
（協力をお願い）

平素より国土交通行政にご理解とご協力を賜り、ありがとうございます。

現在、国土交通省においては、生産性革命プロジェクトの一環として i-Construction を導入し、建設生産システム全体の生産性向上を図り魅力ある建設現場を作る取り組みを行っています。こうした取り組みの中で、国土技術政策総合研究所では、港湾の維持管理分野における ICT 技術のニーズ及び新技術の動向を把握するとともに、港湾の維持管理分野における i-Construction 導入に向けた検討を行っております。

つきましては、この検討の参考とするため、下記のアンケート調査にご協力いただきま
すようお願い致します。

記

・アンケート調査内容

別添エクセルファイル「港湾の維持管理分野における i-Construction の導入についてのアンケート」にご記入頂き、以下の提出先まで電子メールにてご提出下さい。

対象者は海洋・港湾構造物維持管理士とし、所属会社（建設会社、建設コンサルタント）等に偏りがないように会員から 〇名程度選んでご依頼ください。アンケートは無記名のため提出の際にファイル名を数字に変更ください。

・問合先及び回答提出先

国土交通省 国土技術政策総合研究所 港湾研究部 港湾施工システム・保全研究室

担当 〇〇

E-mail : 〇〇@〇〇 TEL : --

・提出期限

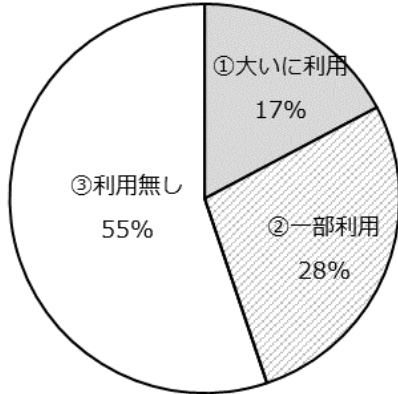
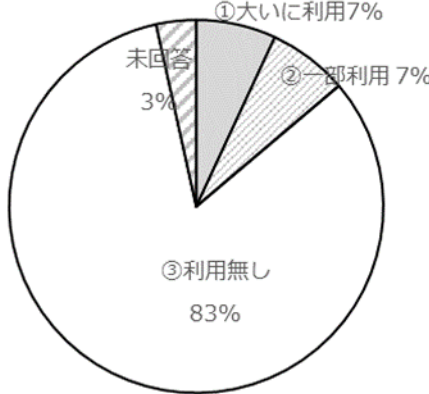
平成〇年〇月〇日（ ）まで

港湾の維持管理分野におけるi-Constructionの導入についてのアンケート	
■今年度より浚渫工事において、ICT活用工事としてICT浚渫工が導入されました。 これは国交省が進める建設現場の生産性向上を目指す「i-Construction」の港湾分野における動きです。ICTを維持管理分野へ導入する場合について以下の質問にお答えください。 ※ICT：情報通信技術 質問の回答が選択肢になっている場合は、右側選択回答欄塗潰し部分のリストより選択ください。	
質問事項	選択回答欄
Q1. 回答者の属性について、下記について選択回答欄から選んでください。	
年齢は？年代を選んでください	
維持管理業務の経験年数を教えてください（陸上海上問わず）	
港湾における維持管理業務の経験年数を教えてください	
主たる勤務している地方を選んでください（地方整備局の管轄で選んでください）	
所属する会社の規模を以下から選んでください	
大企業（中小企業以外）	
中小企業（資本金3億円以下かつ常時使用する従業員数300人以下【中小企業基本法第2条抜粋】）	
Q2. 維持管理の点検・調査におけるICTの利用状況について1つ以下から選んでください。	
①②を選んだ方は、どんな技術を利用しているか以下黄色枠内にお書きください。	
①大いに利用している ②一部利用している ③ほとんど利用していない	
Q3. 維持管理の維持工事や対策工事におけるICTを利用状況について1つ以下から選んで	
①②を選んだ方は、どんな技術を利用しているかを以下黄色枠内にお書きください。	
①大いに利用している ②一部利用している ③ほとんど利用していない	
Q4. i-Constructionでは調査・測量から維持管理にいたる一連の建設生産システムに3次元点群データ（3次元座標をもった点の集合データ）を利活用します。3次元点群データは維持管理に有効でしょうか？以下から1つ選んでください。	
①有効である ②データの扱い次第で有効である	
③データ量が大きく使いづらく効果が少ない	
④その他(以下黄色枠内に具体的にお書きください)	
Q5. 調査へのICT導入において効果が特に期待される技術を3つ以下から選んでください。	
①広範囲に効率よく水深を測る技術 ②潜水土無しで水中の状況把握ができる技術	
③調査のための仮設を少なくできる技術 ④コンクリート構造物の点検調査技術	
⑤鋼材点検調査技術 ⑥岸壁エプロン下の空洞点検調査技術 ⑦劣化度判定を行う技術	
⑧変状進行予測をする技術 ⑨その他（以下の黄色枠内に具体的にお書きください）	
Q6. 調査後の対策工(補修など)へのICT導入において効果が特に期待される技術を1つ以下から選んでください。	
①水中に見える化する技術 ②濁りの影響を小さくする技術	
③潮流の影響を小さくする技術 ④無人化施工する技術	
⑤その他（以下の黄色枠内に具体的にお書きください）	

港湾の維持管理分野におけるi-Constructionの導入についてのアンケート	
Q7. ケーソン中詰の充填確認のための点検孔設置など、施工段階での維持管理への配慮としての工夫が見られます。設計や施工段階で維持管理への配慮として考えられるICT技術や今後期待されるICT技術について、ご意見があれば以下の黄色枠内にお書きください。 [自由意見欄]	
Q8. 維持管理に必要なデータ(設計仕様や施工時のデータなど)の受渡方法について思うことを1つ以下から選んでください。 ①データベース化し、申請者へのID、パスワード交付を行い閲覧できるようにする ②必要なデータをその都度、管理者から受領する ③その他 (以下の黄色枠内に具体的にお書きください)	
Q9. 維持管理において、設計や施工などの前段階から引き継ぐ情報や維持管理中の情報のうち、特に重要と思われることを1つ以下から選んで、その理由を以下の黄色枠内にお書きください。 ①現状の位置情報 (3次元点群データ) ②構造計算結果などの設計計算情報 ③仕様や搬入時検査等の材料の情報 ④コンクリート打設記録などの施工の記録 ⑤その他 (以下の黄色枠内に具体的にお書きください)	
Q10. 3次元モデル導入にあたり、維持管理を実施する上で、構造物のどの場所 (部材) のどのような属性情報があれば有効だと思われますか。以下から選んでください。 選んだ理由、ご意見等を黄色枠内にお書きください。 [場所 (部材) 名] (1つ選択) ①エプロン ②上部工 ③床版 (栈橋) ④梁 (栈橋) ⑤鋼管杭 ⑥矢板 ⑦ケーソン ⑧その他 (黄色枠内) [属性情報] (3つ選択) ①水深 ②建設年 ③潮位 ④使用状況 ⑤材料情報 ⑥過去の地震の履歴 ⑦水面からの離隔 ⑧気温 ⑨その他 (黄色枠内)	[場所 (部材) 名] [属性情報 (3つ)]
Q11. 3次元モデル導入にあたり、維持管理に有効な情報として、所在地域の情報を保管することが想定されます。劣化の進行に差が出るような地域区分を考える場合、区切り方として、これまでの経験の中でもっとも適当と思われるものを1つ以下から選んで、その理由を以下の黄色枠内にお書きください。なお、その他を選択した場合は、黄色枠内にその内容を併せて記載してください。 ①地方整備局 (旧地方港湾建設局) での区切り、②太平洋側、日本海側での区切り ③降雪地域、非降雪地域での区切り、④寒冷地域、非寒冷地域での区切り ⑤干満差が似た地域での区切り、⑥その他 ()	
Q12. 維持管理分野のICT化についてご意見、上記質問事項に対して追記事項等があれば、以下にお書きください。 [自由意見欄]	

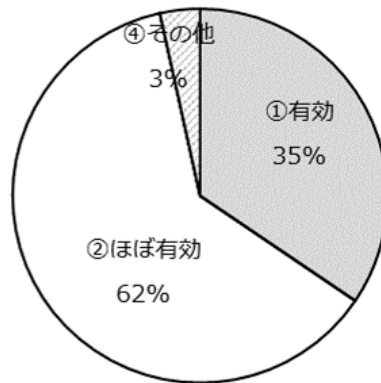
付録 D 海洋・港湾構造物維持管理士へのアンケート（回答と集計）

以下に海洋・港湾構造物維持管理士へ配布したアンケートの回答と集計を記載する。記述式の回答については、アンケート票に記載のまま転記している。回答数は 29 である。

Q1. 回答者の属性については省略										
Q2. 維持管理の点検・調査における ICT の利用状況について 1 つ以下から選んでください。 ①②を選んだ方は、どんな技術を利用しているかをお書きください。 ①大いに利用している ②一部利用している ③ほとんど利用していない										
 <table><caption>Q2: 維持管理の点検・調査における ICT の利用状況</caption><thead><tr><th>利用状況</th><th>割合</th></tr></thead><tbody><tr><td>①大いに利用</td><td>17%</td></tr><tr><td>②一部利用</td><td>28%</td></tr><tr><td>③利用無し</td><td>55%</td></tr></tbody></table>	利用状況	割合	①大いに利用	17%	②一部利用	28%	③利用無し	55%		
利用状況	割合									
①大いに利用	17%									
②一部利用	28%									
③利用無し	55%									
○具体的利用 ICT 技術 NMB, UAV, 3D スキャナー, 移動体 LS, CIM を用いた施工ステップ図, 老朽化状況の把握および記録 サイドスキャンソナー, ネットワーク型 GNSS 測位										
Q3. 維持管理の維持工事や対策工事における ICT を利用状況について 1 つ以下から選んでください ①②を選んだ方は、どんな技術を利用しているかをお書きください。 ①大いに利用している ②一部利用している ③ほとんど利用していない										
 <table><caption>Q3: 維持管理の維持工事や対策工事における ICT の利用状況</caption><thead><tr><th>利用状況</th><th>割合</th></tr></thead><tbody><tr><td>①大いに利用</td><td>7%</td></tr><tr><td>②一部利用</td><td>7%</td></tr><tr><td>③利用無し</td><td>83%</td></tr><tr><td>未回答</td><td>3%</td></tr></tbody></table>	利用状況	割合	①大いに利用	7%	②一部利用	7%	③利用無し	83%	未回答	3%
利用状況	割合									
①大いに利用	7%									
②一部利用	7%									
③利用無し	83%									
未回答	3%									
○具体的利用 ICT 技術 NMB, UAV, 3D スキャナー, 薄層浚渫における深度管理, 老朽化状況の把握および記録 航路・泊地の維持浚渫工事およびその土捨て場への揚土において利用										

Q4. i-Construction では調査・測量から維持管理にいたる一連の建設生産システムに 3 次元点群データ（3 次元座標をもった点の集合データ）を利活用します。3 次元点群データは維持管理に有効でしょうか？以下から 1 つ選んでください。

- ①有効である ②データの扱い次第で有効である ③データ量が大きく使いづらく効果が少ない
④その他（具体的にお書きください）



④その他具体的意見

- ・補修数量の算定などに活用できればある程度有効であるが、課題が多いと思われる

◆①の補足意見

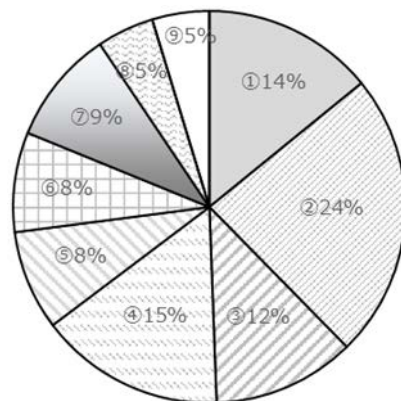
- ・線的な情報より面的なデータがより変状を捉えやすい

◆②の補足意見

- ・位置情報と、変状や補修履歴などデータを上手く組み合わせる仕組みがあれば有効
- ・新規建設における利用は既に有効なツールであると思うが、維持管理が出来るレベルでの精度は今のところ難しいと感じている。導入を進める上では、水中部の不可視部等を確認するツールの開発が必要と感じる
- ・CIM について取り扱える人員が不足している
- ・現状、測定主体、方法、精度管理等が統一されておらず、他者が取得したデータの活用が難しい事例がある

Q5. 調査への ICT 導入において効果が特に期待される技術を 3 つ以下から選んでください。

- ①広範囲に効率よく水深を測る技術 ②潜水土無しで水中の状況把握ができる技術
③調査のための仮設を少なくできる技術 ④コンクリート構造物の点検調査技術
⑤鋼材点検調査技術 ⑥岸壁エプロン下の空洞点検調査技術 ⑦劣化度判定を行う技術
⑧変状進行予測をする技術 ⑨その他（具体的にお書きください）



選択肢	割合[%]
①水深計測	14
②潜水土代替	24
③仮設削減	12
④Co点検	15
⑤鋼材点検	8
⑥空洞点検	8
⑦劣化度判定	9
⑧変状予測	5
⑨その他	5

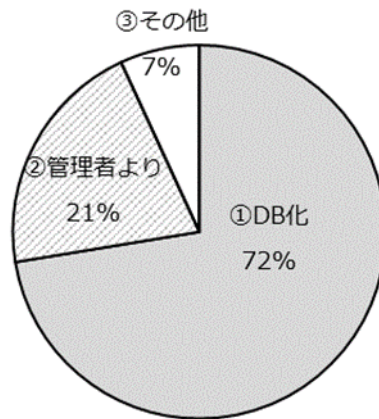
Q5 ⑨その他具体的技術 ・ルーチンワーク的な点検作業の省力化（写真撮影、整理、変状図作成など） ・ひび割れの自動判別技術（目視点検の省力化） ・調査困難な箇所での調査、記録 ・莫大な量のストックに対応できる技術										
Q6. 調査後の対策工(補修など)への ICT 導入において効果が特に期待される技術を 1 つ以下から選んでください。 ①水中に見える化する技術 ②濁りの影響を小さくする技術 ③潮流の影響を小さくする技術 ④無人化施工する技術 ⑤その他（具体的にお書きください）										
<table border="1"> <caption>Q6 調査結果の円グラフ</caption> <thead> <tr> <th>技術</th> <th>割合</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>①水中可視化</td> <td>55%</td> </tr> <tr> <td>②濁り低減</td> <td>17%</td> </tr> <tr> <td>④無人化施工</td> <td>21%</td> </tr> <tr> <td>⑤その他</td> <td>7%</td> </tr> </tbody> </table>	技術	割合	①水中可視化	55%	②濁り低減	17%	④無人化施工	21%	⑤その他	7%
技術	割合									
①水中可視化	55%									
②濁り低減	17%									
④無人化施工	21%									
⑤その他	7%									
①その他具体的技術 ・対策工実施時の計測施工										
Q7. ケーソン中詰の充填確認のための点検孔設置など、施工段階での維持管理への配慮としての工夫が見られます。設計や施工段階で維持管理への配慮として考えられる ICT 技術や今後期待される ICT 技術について、ご意見があればお書きください。[自由意見欄]										
○自由意見 ・構造物に漂流物等が接触・損傷したことがわかるセンサー等を用いた通報システムの開発 ・潮待ちなど栈橋下面の点検が困難であるため、栈橋下面の維持管理に活用できる ICT 技術 ・RC 構造物への腐食センサーの設置 ・細かい補修箇所の正確な位置情報の活用 ・鉄筋および鋼材の腐食の有無や程度を非破壊で確認できる技術 ・部位、場所、方向などが識別できるような情報を埋め込む（表示）しておく和良好的のでは ・3次元 CAD による配筋などの詳細図作成 ・施工段階の出来形で3次元データを取得し、同様の手法を維持管理時も適用して常に比較できるように ・鋼管杭、鋼管矢板の内部状況の探査技術の開発に期待しております ・過密配筋箇所の充填確認方法、地盤改良におけるボーリング以外でのチェック確認方法、支持層の簡易確認方法 ・栈橋などの構造物は固有周期と剛性に相関があると言われています。常時微動を計測できるような素子を構造物中に埋め込み、それを定期的に計測する、または地震時、接岸時の変形量を計測することにより、構造物の劣化状態、健全性を把握する技術 ・ICT を用いた調査結果を AI で解析し、劣化度判定や対策工設計の支援とする ・建設時の情報の逸散が維持管理の一番の障害である。情報管理の一元化やルール統一が必須 ・浮栈橋、可動橋などの土木、機械、造船系技術の複合施設の 3D モデル化 ・データの情報共有、健全度診断などの AI の活用、劣化診断にたいする IoT の活用 ・各種センサーを利用して、常時モニタリングできる技術の開発が望まれる										

Q7 自由意見続き

- ・ 栈橋下面部の目視調査を陸上（岸壁面）からの簡易なアクセス及び採光を考慮した構造
- ・ 鉄筋コンクリートの鉄筋腐食のモニタリング技術（センサーの埋め込み）
- ・ 撮影した写真に日時・座標データを持たせ、その画像データを蓄積する
- ・ 耐食性鉄筋の利用、水中ドローン
- ・ 補修などの維持工事が多くなると、その履歴を管理して行かなければ、その後の点検や維持工事を適切にできなくなる可能性がある。管理面での技術開発を期待する
- ・ 塩化物の拡散、鉄筋腐食、鋼材腐食等のモニタリング・センシング技術
- ・ 鋼構造物のモニタリング技術（継続的な電位測定など）

Q8. 維持管理に必要なデータ(設計仕様や施工時のデータなど)の受渡方法について思うことを 1 つ以下から選んでください。

- ①データベース化し、申請者への ID、パスワード交付を行い閲覧できるようにする
- ②必要なデータをその都度、管理者から受領する
- ③その他（具体的にお書きください）



③その他意見

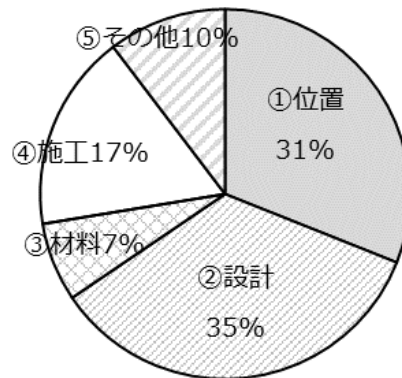
- ・ その都度、点群データを取得する
- ・ ①が理想ですが、供用中の施設が紙ベースでの資料が多いので、現実には②だと思います

◆①の補足意見

- ・ 管理者の手間を取らずに、全国の類似、他事例を確認することができる

Q9. 維持管理において、設計や施工などの前段階から引き継ぐ情報や維持管理中の情報のうち、特に重要と思われることを1つ以下から選んで、その理由をお書きください。

- ①現状の位置情報（3次元点群データ） ②構造計算結果などの設計計算情報
 ③仕様や搬入時検査等の材料の情報 ④コンクリート打設記録などの施工の記録
 ⑤その他（具体的にお書きください）



Q9 回答選択理由

①選択理由

- ・位置情報は全ての基本となるので、cm あるいはmm単位のデータを共有することが重要
- ・劣化箇所の明示
- ・3D モデリングの基礎となるデータであるため
- ・3次元点群データである必要はないが、基準となる点の位置情報が重要
- ・竣工時の測量データが十分に活用されていない

②選択理由

- ・構造物の残存耐力を検討する場合等において、現状の構造物の設計情報は不可欠
- ・RC 構造物や鋼構造物の劣化度や、耐力評価時に必要となるため
- ・維持管理の上、具体的に対策が必要となるのは数十年後。それまでに技術基準は変遷している可能性があり、当時の構造計算が重要等とため
- ・①～④すべて重要と思いますが、設計計算や構造計算を復元するためには様々な設計条件や制約条件など不確定要素を多く含むため想定に想定を重ねた再現計算となる。また、②以外は現地調査や分析などにより後から調べられる可能性が高いため。

③選択理由

- ・補修、改良時の判断材料になると思われるため

④選択理由

- ・耐久性評価の精度は、イニシャル情報に係る取得の有無に大きく依存するため

⑤選択理由

- ・竣工図面が最終バージョンであること。補修工事の履歴が残されていること
- ・設計思想に関する情報（どのような根拠で部材仕様を決定するに至ったか、各部材の維持管理レベル、重要度に関する情報があれば、維持管理で補修補強を優先すべき部位が特定できる）
- ・①～④の全て

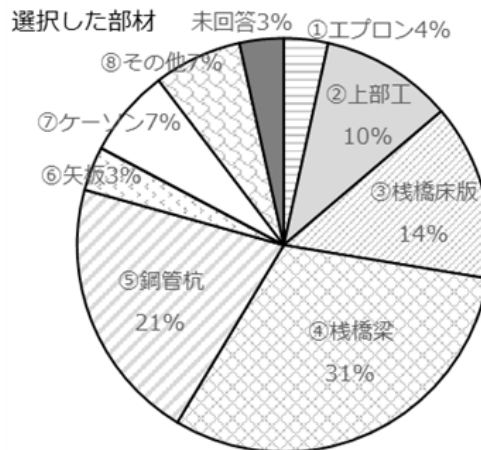
Q10. 3次元モデル導入にあたり、維持管理を実施する上で、構造物のどの場所（部材）のどのような属性情報があれば有効だと思いますか。以下から選んでください。選んだ理由、ご意見等をお書きください。

【場所（部材）名】（1つ選択）

①エプロン ②上部工 ③床版（栈橋） ④梁（栈橋） ⑤鋼管杭 ⑥矢板 ⑦ケーソン ⑧その他

【属性情報】（3つ選択）

①水深 ②建設年 ③潮位 ④使用状況 ⑤材料情報 ⑥過去の地震の履歴 ⑦水面からの離隔
⑧気温 ⑨その他



⑧その他具体的部材

- ・複数部材あるいは構造物全体
- ・③④栈橋下部は形状が複雑であり、干満や施設の利用状況等により調査時間が制約される場合が多いため。また、各部材における劣化状況の違いや波向の変動による影響など3次元モデル化により活用が広がる可能性が高い

部材選択理由（文頭の丸数字が選択部材）

- ④維持管理計画の検討を行う上で、供用状況(経過年数、実際の荷重条件)や構造部材に関する情報は重要
- ④自然環境が良くない上に、重要な部材であるため
- ④梁（栈橋）は他の部材に比して一般に劣化しやすいこと。それに係る情報は診断上有益であること
- ⑤鋼管杭等の劣化要因を推定するための情報

◆選択した属性情報

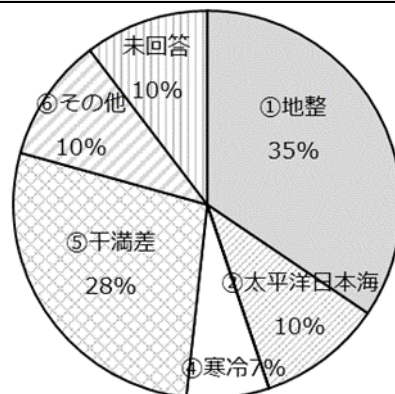
選択属性	部材							
	エプロン	上部工	床版(栈橋)	梁(栈橋)	鋼管杭	矢板	ケーソン	その他
①水深	0	0	0	0	2	0	1	1
②年数	1	1	4	9	5	1	0	0
③潮位	0	0	0	1	1	0	0	0
④状況	1	3	2	7	2	1	0	0
⑤材料	0	2	2	6	3	1	0	0
⑥地震	0	1	0	0	2	0	0	1
⑦離隔	1	1	4	3	0	0	0	1
⑧気温	0	0	0	0	0	0	0	0
⑨他	0	1	0	1	3	0	5	1
計	3	9	12	27	18	3	6	4

Q10 選択属性情報 ⑨その他の具体的属性情報 (文頭の丸数字が選択部材)

- ②高さの基準 (建設時と現在の高さの基準が変更されている場合があり、把握していない場合、3次元モデル導入に支障になる)
- ④配筋図等の詳細設計データ
- ⑤設計腐食代
- ⑤打込記録
- ⑤防食工
- ⑦ケーソン四隅の座標・位置
- ⑦根固・被覆ブロックの三次元データ
- ⑦本体工の移動
- ⑦上部工の移動
- ⑦消波ブロックの抜け
- ⑧ ①～⑧の選択肢も含む、できるだけ入手可能な情報

Q11. 3次元モデル導入にあたり、維持管理に有効な情報として、所在地域の情報を保管することが想定されます。劣化の進行に差が出るような地域区分を考える場合、区切り方として、これまでの経験の中でもっとも適当と思われるものを1つ以下から選んで、その理由を以下にお書きください。なお、その他を選択した場合は、その内容を併せて記載してください。

- ①地方整備局 (旧地方港湾建設局) での区切り ②太平洋側、日本海側での区切り
- ③降雪地域、非降雪地域での区切り ④寒冷地域、非寒冷地域での区切り
- ⑤干満差が似た地域での区切り ⑥その他



選択理由 (文頭の丸数字が選択部材)

- ①地整 地方整備局で保管することで、工事・業務発注時に有効活用が期待されるため
 - ①港湾施設の劣化要因の主たるものは塩害であり、その環境特性でわけるのがベスト。しかし、情報を管理する上では整備局単位でまとめないと情報の維持管理自体が難しいと思う
 - ②太平洋日本海 潮位条件や塩分濃度、風などが大きく違う
瀬戸内海等の内海も区切りとして必要ではないかと思います
 - ④冷非寒冷凍害による複合劣化を受ける場合、劣化の進行速度が大幅に増加するものと考えられるため
 - ⑤干満差 干満帯の劣化が特に激しいと予測されるため
 - ⑥の他 気象・海象条件が似た地域での区切り
- 劣化の進行に差が出るような区分について、知見を持っていない
- 塩化物の観点からは②、凍害の観点からは④。両者に順列を付けることは困難
- (未回答) 劣化の進行に差が出る適切な地域区分の経験上の知見がないため
- (未回答) 区分はいらない

Q12. 維持管理分野の ICT 化についてご意見、上記質問事項に対して追記事項等があれば、以下にお書きください。[自由意見欄]

○自由意見

- ・道路・河川に遅れを取らないよう港湾でも維持管理分野の ICT 化を進めて欲しい
- ・維持管理分野 ICT 化は、点検、調査、経年変化（必要に応じたモニタリング）で有効
- ・維持管理の需要が多そうな栈橋形式の構造物をまずは対象として進めるのが良いのではないかな
- ・維持管理に必要なデータのデータベース化は、省力化、ミス防止に役立つと考えられる
- ・今後も AI もふくめ活用することで、維持管理も正確にかつ省力化することが大事
- ・ICT 化を進めると共に、既にある 2 次元図面の 3 次元化に対する取組も必要かと思います
- ・近年、マニュアルの整備が進み、調査・診断における技術者によるバラツキが減った。ICT 化は、省力化とともに、人の資質に起因するバラツキをなくす事も目的であるため、推進していく開発分野と考える。施設の維持管理については、状況に対して、投資(特に民間)が遅れている現状があり、必要な対策すべき所に手当てができてない。ICT 化には、低コスト化も求められる。

また、ICT 化により取り扱う情報量が膨れ上がる事が懸念される。最先端の技術者にどうやって反映、普及していくかも大きな課題と考える。

・栈橋などの港湾構造物は過酷な腐食環境にありながら、とくに水中や上部工下面などは点検・診断がしにくいという特徴があります。また、日常、見える部分ではないので上部工上面が健全であればそこから下も健全ではないかという錯覚をしてしまいがちです。そのため管理者が危機感を実感できるような工夫を ICT 技術等を用いて実現できれば、必要な時期に必要な部位の適切な維持管理が進んでいくような気がいたします。

・維持管理で問題となる栈橋やケーソン式消波ブロック被覆堤等への具体的活用方法や基準化が必要と考えます

- ・施工データおよび維持管理データを、50 年間随時更新しながら保存し続ける技術が重要だと思います
- ・「i-Construction」と CIM の取り組みについて、足並みをそろえて欲しい
- ・港湾における ICT 導入状況について、ホームページ等でもっと頻繁に更新してほしい
- ・3 次元点群データからフレームデータを作成する技術（施設標準断面図等の CAD 化）
- ・データ蓄積最優先と考えます。出来る施設からデータを集約するが大事だと思います
- ・導入過程における生産性低下期間を極力短期化する必要があると思います
- ・点検結果、修繕履歴などのデータベース化が水平展開されると良いと思う"

付録 E 関係機関等へのヒアリング結果（概要）

ヒアリング先：国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所 実施日：2017 年 9 月 15 日 ヒアリング内容（概要） ・音響カメラは NMB 同様に ICT 浚渫工で活用できる。ビーム幅が異なるので測量範囲や時間が違ってくる。 ・音響カメラの活用分野として、海洋土木に限らず海洋資源調査、防衛等の海に関わる分野で期待ができる。 ・音響カメラの一番の特徴はリアルタイムでの視認（海中可視化）。 ・他に i-Construction の推進上期待できるものとしては水中バックホウや ROV 等の水中ロボット、水中で陸上の GNSS の代わりとなりえるものなど。
ヒアリング先：一般社団法人日本潜水協会 実施日：2017 年 10 月 27 日 ・全国で潜水作業に従事する潜水士は約 3,300 人（推計）。他の技能労働者同様に今後減少することが予測されている。 ・2 割程度の生産性向上を目指しているが、うち 1 割は ICT 活用によるもとを想定している。 ・捨石均しの状況を NMB で計測した場合に、噛み合わせ具合が全く異なっても計測結果が同じような場合がある。潜水士の目視確認が重要である。 ・ROV 等で事前に海中の様子が分かっていると、確認すべき場所を絞れて潜水士の負担軽減につながる。 ・海中にいる潜水士とのコミュニケーションが大事であり、潜水士の状況が確認できないことで災害等も起きてきた。海中の潜水士との意思疎通や状況把握ができる ICT 技術に期待している。
ヒアリング先：建設会社 L 社 実施日：2017 年 9 月 20 日 ・NMB 以外の港湾での ICT 活用については、UAV 写真測量、ALB、水中ソナーなどを試行活用している。 ・防波堤等の幅の狭い場所では評定点の設置が直線的になったり、写真に海面が写ったりするため写真に歪みが生じることがある。斜め方向写真の活用等で補正できた。 ・ALB は個別工事では範囲が狭く、費用対効果が小さくなる。 ・水中ソナーを使用して、海中をモニタリングしながらブロック据付を行ったが、従来の精度と遜色ない精度で施工ができた。 ・CIM の導入では説明資料等が分かり易くなり好評だった。また少ない地層情報を施工時の情報をフィードバックし補完することで施工が円滑に行えた。 ・一方で CIM モデルの作成にあたり費用と労力を要する。扱うソフトが多種で技術習得に時間がかかる。扱える人員も不足している。
ヒアリング先：建設会社 M 社 実施日：2017 年 9 月 25 日 ・UAV 写真測量は、導入により測量自体の時間は短くなるが、評定点設置等の労力が大きい。 ・CIM 活用のメリットは、施工シミュレーションや工程確認等ができること。数量計算も容易に行える。 ・デメリットは CIM モデルの構築に時間と費用を要すること。 ・CIM モデル構築にあたり、各段階で必要なモデルや属性情報が異なるため、各段階でモデルの構築や属性情報を決める必要がある。 ・詳細度の低いモデルに属性情報を外部参照する形が望ましいのではないか。 ・IFC に全ての必要情報を網羅する必要性はないとの考えが建設会社間では主流になりつつある。

ヒアリング先：測量会社 N 社

実施日：2017 年 9 月 1 日

- ・グリーンレーザーを用いた ALB の導入により、陸上部から水深 10m 以浅程度の水中部まで連続してデータ取得が可能となる。
- ・グリーンレーザーは濁りに弱く、測深性能は透明度の約 1.5 倍とされている。20m 程度まで測深実績はある。
- ・ALB の測深精度は実績として ±15 cm 程度。ICT 浚渫工の ±10 cm には入らない。今後の検討、検証が必要である。
- ・ALB のデータ解析には 2～3 日程度要する（一般的な港湾工事の範囲で）。特にノイズ除去のための閾値設定と手作業でのノイズ除去に多くの時間を要する。NMB 同様に即時性はない。

ヒアリング先：測量会社 O 社

実施日：2017 年 11 月 16 日

- ・3 次元データを構造物管理に適用すると形状の再現性が重要であり、ICT 浚渫工の点群密度では密度不足となる。適切な点群密度の検討が必要。
- ・NMB では UAV のような作業自体の簡素化と操作性の向上が必要である。
- ・NMB 以外の水中計測機器では、構造物の側面や付帯設備等の計測に有効な水中 3D スキャナーに期待できる。
- ・ALB は広範囲の地形計測には有利だが、構造物の形状を正確に捉えることには不向きである。
- ・CIM の実施にあたり、2 次元図面から 3 次元モデルを作成することに労力を要する。特に複雑な陸上構造物において。

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of NILIM

No. 1024

March 2018

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写のお問い合わせは
〔〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1
管理調整部企画調整課 電話:046-844-5019〕
E-mail:ysk.nil-kikaku@ml.mlit.go.jp